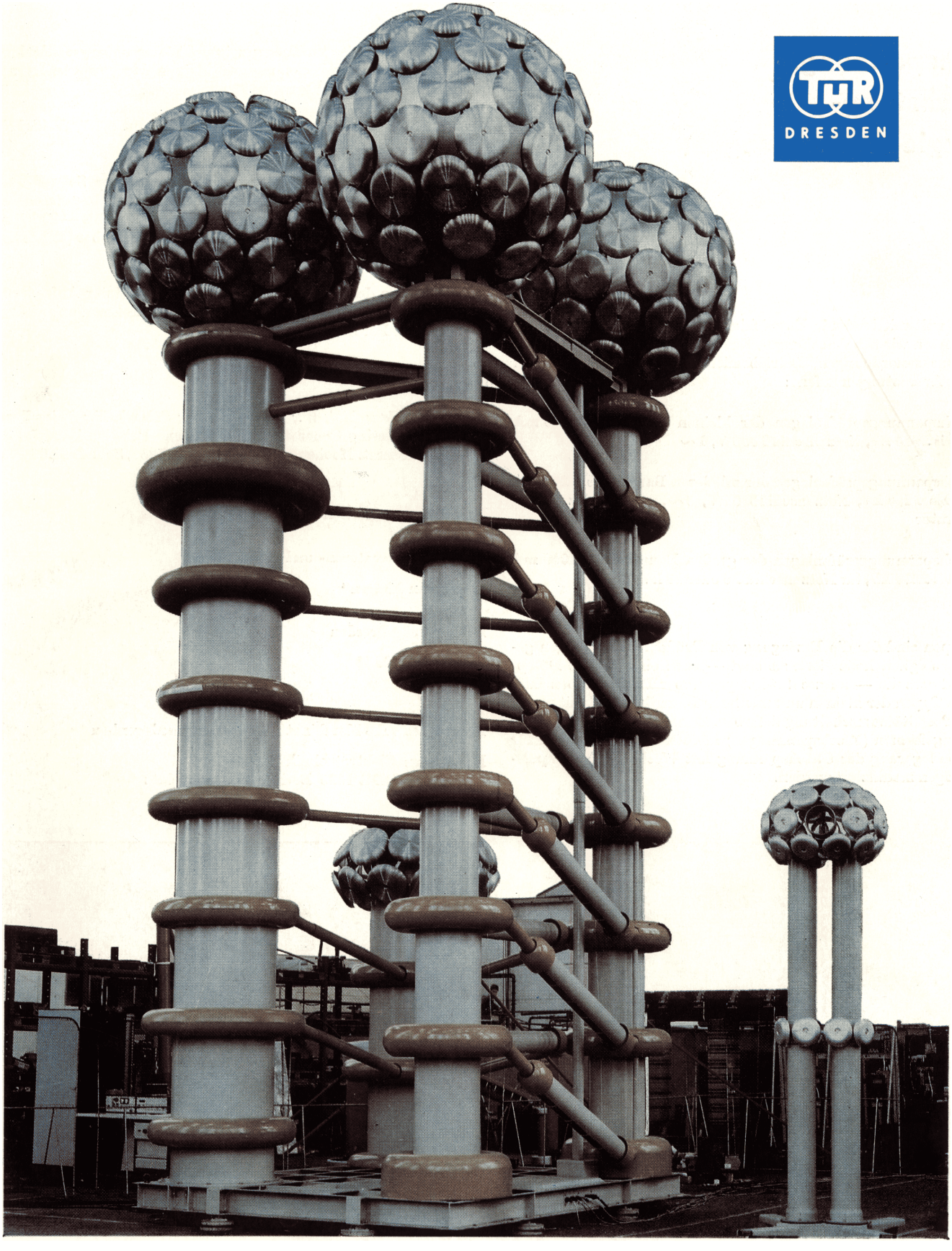
ELEKTRIE 4|84

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399



0120314

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

Der Beitrag des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern", Dresden zur

Hochspannungs-Gleichstrom-Energieübertragung

Für die weltweit laufende Entwicklung der HGÜ-Energieübertragung können wir für Forschungs-, Entwicklungs- und Prüfarbeiten an Versuchsanordnungen, Betriebsmitteln und Versuchsstrecken folgende Ausrüstungen liefern:

- Gleichspannungsprüfanlagen der kleinen Baureihe bis **30 mA** und **bis 2000 kV,** Netzanschluß 380 V, 1 ~
- Gleichspannungsprüfanlagen der mittleren Baureihe bis **200 mA** und **bis 2250 kV,** Netzanschluß 6 kV, 3 ~, mit 500 Hz-Motorgenerator
- Gleichspannungsprüfanlagen der großen Baureihe bis **1000 mA** und **bis 2250 kV,** für Netzanschluß 6 oder 10 kV, 3 ~

Alle Typen sind für die Erzeugung von Prüfgleichspannungen geringer Welligkeit konzipiert, sie sind — auch ohne äußere Dämpfungswiderstände — kurzschlußfest gegenüber Prüflingsüberschlägen. Die Typen der kleinen und mittleren Baureihen sind mit motorischer Polaritätsumschaltung lieferbar. Zur Nachbildung spezieller Spannungsformen (Mischspannungen) können alle Typen auch für eine Überlagerung der Gleichspannung mit Wechsel- oder Impulsspannungen modifiziert werden.

Die auf der Titelseite im Foto gezeigte **Gleichspannungsprüfanlage 10 mA/2000 kV** wurde aus unserer kleinen Baureihe weiterentwickelt und weist folgende neuen Merkmale auf:

— stationärer Betrieb mit 2000 kV/10 mA bei nur 0,3 % Welligkeit (ripple)

— Betrieb mit handgesteuerter oder automatischer Schnell-Umpolung bis 750 kV mit vorwählbarer Umpolzeit und Zyklusdauer, hierbei sind Polaritätswechselzeiten (von + 90 % bis — 90 % der stationären Spannung) bis herab zu 200 ms erreichbar (siehe Diagramm).

— Ausführung des Generators in erdbebengeschützter Aufstellung (auf „Schwingfüßen", die unter dem Grundrahmen angeordnet sind, siehe Foto auf der Titelseite)

Literatur

Frank, H.; Hauschild, W.; Kantelberg, J.; Schwab, H.; Spiegelberg, J.: HVDC Testing Generator for short-time Polarity Reversal on Load. 4. Internat. Hochspg.-Sympos. Athen 1983, Schrift 51.05

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk

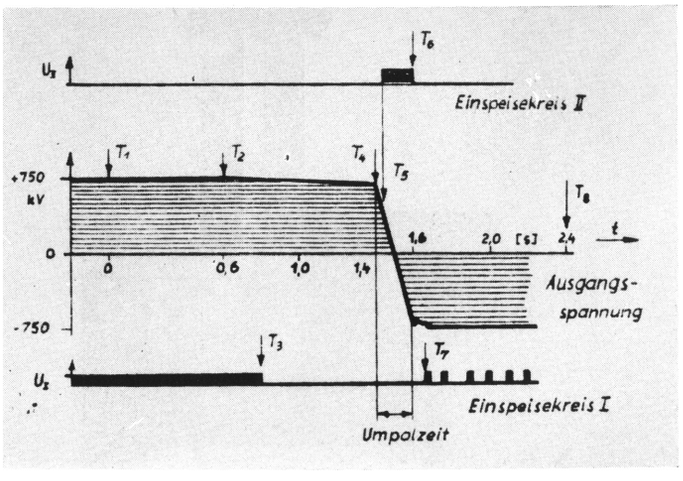
„Hermann Matern"

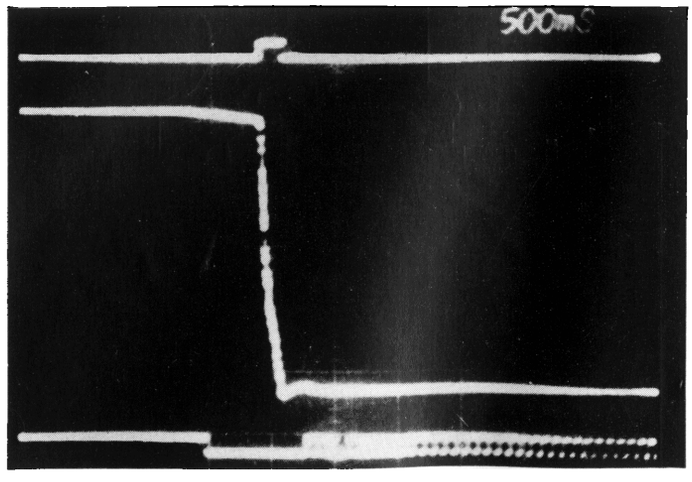
DDR — 8030 Dresden

Overbeckstraße 48

Betrieb des VEB Kombinat Elektroenergieanlagenbau

Exporteur: Elektrotechnik Export-Import
DDR 1026 Berlin, Alexanderplatz





4|84 ELEKTRIE

38. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Plakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Dipl.-Ing. H. Wolf

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden · Dipl.-Ing. W. Knuth, Berlin

Titelbild

Moderne Hochspannungsprüftechnik aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden (TuR) bildet eine wichtige Voraussetzung für die Weiterentwicklung und Zuverlässigkeit in Elektroenergie-Übertragungssystemen. TuR liefert von der tragbaren Teilentladungsmeßeinrichtung bis hin zu kompletten Höchstspannungslaboratorien.
Unser Foto zeigt eine TuR-Gleichspannungsprüfanlage 2000 kV/10 mA, mit automatischer 200-ms-Schnellumpolung bis ± 750 kV, für die HGÜ-Forschung. Weitere Erläuterungen zu den technischen Daten dieser Anlage finden Sie auf der 2. Umschlagseite.
Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Aus dem Inhalt

Seite

Aktuelle Information 122

Conrad, H.

10. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden 123

Persönliches 124

Fachaufsätze

Vogt, K.; Schubert, P.

Johannes Görges — hervorragender Ingenieur, Forscher und Hochschullehrer der Elektrotechnik 125

Henkel, O.

Stand und Weiterentwicklung der Werkstoffe für die Elektrotechnik 128

Töpfer, H.

Zur Entwicklung der Automatisierungstechnik 133

Schönfeld, R.; Güldner, H.; Habiger, E.; Paulig, E.; Seefeld, E.; Winkler, G.

Anwendung der Mikroelektronik in der Elektrotechnik 137

Brendler, W.; Koettnitz, H.

Meßmittel und Meßmethoden in der energetischen Elektrotechnik unter dem Einfluß der Halbleiter- und Mikroelektronik 144

Ambrosch, H.; Böhme, H.; Pundt, H.

Zuverlässigkeitserhöhung von Elektroenergiesystemen durch optimale Gestaltung von Betriebsmitteln und Anlagen und Vorausberechnung von Betriebsvorgängen 149

Umschau

Persönliches 154

Fachtagungen 155

Dissertationen 157

Bücher 158

AKTUELLE INFORMATION

Zuverlässigkeit elektrotechnischer Anlagen und Betriebsmittel

Zeit: 7. Juni 1984
Ort: Hohenstein-Ernstthal, Kreiskulturhaus, Logenstraße (5 Min. v. Bahnhof)

Veranstalter:

Bezirksfachausschuß „Elektrotechnische Anlagen" der KDT; BV Karl-Marx-Stadt gemeinsam mit den Betriebssektionen der KDT der TH Leipzig, des IPH Berlin und des Kombinates EAW Berlin

Themen

- Zuverlässigkeitsbewertung von Elektroenergieanlagen auf der Basis der Zuverlässigkeitsklassifizierung
- Zuverlässigkeit von Mittel- und Niederspannungsschaltanlagen
- Probleme der Zuverlässigkeit bei der Ablösung der elektrotechnischen durch elektronische Schutzrelais
- Zuverlässigkeit sonstiger elektronischer Betriebsmittel

Anfragen

Kammer der Technik
BV Karl-Marx-Stadt
Tagungsorganisation
9010 Karl-Marx-Stadt, PSF 504
Tel.: 62141
G. Heliosch EA 1717

Rationelle Energieanwendung durch Regelung von Heizungsanlagen — Erkenntnisstand 1984

Zeit: 19. Juni 1984
Ort: Dresden

Veranstalter:

Arbeitsausschuß Steuerungs- und Regelungstechnik gemeinsam mit der Bezirksfachsektion Elektrotechnik/Elektronik der KDT und dem Fachausschuß 14 Steuerungs- und Regelungstechnik Berlin

Anfragen

Kammer der Technik
Bezirksvorstand Dresden
SB Wissenschaft und Technik
8020 Dresden, Basteistr. 5
Tel.: 2326210, App. 32
E. Enders, Dresden EA 1714

Tagungen der WGMA 1984

Automatisierte Systeme der Vorbereitung und Durchführung der Produktion (Rechnergestützte Arbeit)

Zeit: 19. bis 20. Juni 1984
Ort: Berlin

Photon Detectors

11. Internat. Symposium
des TC 2 Photon Detectors in der IMEKO
(Tagungssprache Englisch)

Zeit: 11. bis 13. September 1984
Ort: Weimar

Temperaturmessung in Industrie und Wissenschaft

2. Symposium
des TC 12 Temperaturmeßtechnik in der IMECO
(Tagungssprache Englisch)

Zeit: 16. bis 18. Oktober 1984
Ort: Suhl

Automatisierungstechnik

7. Wissenschaftlich-technische Konferenz mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern
Zeit: 31. Oktober bis 1. November 1984
Ort: Berlin

Automatisierungstechnik

Jahrestagung der WGMA
mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern
Zeit: 6. bis 7. Dezember 1984
Ort: Leipzig

Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik

13. Jahrestagung
mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern
Zeit: 12. bis 14. Dezember 1984
Ort: Rostock
H. Hoppe, Berlin EA 1695

Beanspruchung von elektrotechnischen Anlagen

Zeit: 21. Juni 1984
Ort: Suhl

Themen

- Bestimmung der minimalen Fehlerströme
- Unsymmetrische Belastung
- Projektierung statischer Kompensationsanlagen für Stromrichter
- Stochastische Bemessung elektrotechnischer Betriebsmittel und Kabel

Anfragen

Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
6000 Suhl
Postfach 13
H. Hartung, Suhl EA 1722

Kabel und Leitungen in elektrotechnischen Anlagen

Zeit: 21. Juni 1984
Ort: Magdeburg, Stadthalle

Themen

- Herstellungsverfahren und Anwendungsspezifik der Al-Cu-Leiter
- Klemmen- und Verbundtechnik, Einsatzerfahrungen von Al-Cu-Leitern
- Anschlußtechnik von Al- und Al-Cu-Leitern
- Auswirkungen von Fehlerlichtbögen in Kabelanlagen
- Brandschutz für Kabelkanäle, Kabelräume und Kabelschächte

Anfragen

KDT-Tagungsbüro,
3500 Stendal, Weberstraße 5
Tel.: 3034
K. Riemekasten, Magdeburg EA 1721

Applikative Mikroelektronik — Stand und Tendenzen

4. Fachtagung mit internationaler Beteiligung

Zeit: 18. bis 19. Oktober 1984
Ort: Dresden

Veranstalter:

Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik in Verbindung mit VE Betrieben des VEB Kombinat Mikroelektronik

Inhaltliche Schwerpunkte

- Applikation moderner aktiver und passiver diskreter und integrierter elektronischer Bauelemente
- Rationalisierung und Automatisierung durch Einsatz der Mikroelektronik in der Produktionsvorbereitung und Produktion
- Rationalisierung der Arbeit durch multivalente Nutzung von Mikrorechnersystemen und Software-Lösungen
- Erhöhung der Material- und Energieökonomie durch Einsatz der Mikroelektronik
- Einsatz der Mikroelektronik in neuen Erzeugnissen der industriellen, nichtindustriellen und Konsumgüter-Elektronik
- Durchführung einer Poster-Diskussion zu verallgemeinerungswürdigen Anwendungsbeispielen der Mikroelektronik mit dem Ziel, den Informations- und Erfahrungsaustausch zu mikroelektronischen Detail-Lösungen zu organisieren.
- Podiumsdiskussion zur Einsatzvorbereitung der Mikroelektronik in Klein- und Mittelbetrieben.

Anfragen

Kammer der Technik
Präsidium Fachverband Elektrotechnik
1086 Berlin
Clara-Zetkin-Straße 115/117.
G. Klotz, Berlin EA 1701

Schalten und Stellen von Stoffströmen und elektrischen Leistungen

VII. Wissenschaftlich-technische Konferenz mit internationaler Beteiligung

Zeit: 31. Oktober bis 1. November 1984
Ort: Berlin, Kongreßhalle

Veranstalter:

Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT in Zusammenarbeit mit dem Kombinat VEB Elektro-Apparate Werke Berlin

Inhaltliche Schwerpunkte

- Neue gerätetechnische Lösungen
- Theoretische Forschungsergebnisse mit Anwendererfahrungen auf diesem Fachgebiet
- Neue Ergebnisse auf dem Gebiet der Niederspannungsschaltgeräte
- Forderungen und Trends für die zukünftigen Entwicklungen

Anfragen

KDT-Präsidium, WGMA
1086 Berlin
Clara-Zetkin-Str. 115/117
G. Klotz, Berlin EA 1705

10. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden

Von
Prof. Dr. sc. techn. Harry Conrad
Direktor der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden

Vom 10. bis 12. Juli 1984 führt die Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden gemeinsam mit dem Bezirksvorstand der Kammer der Technik ihre 10. Wissenschaftliche Konferenz durch. Die Technische Universität ehrt mit dieser Konferenz gleichzeitig das Wirken von Johannes Görges, Professor für Elektrotechnik, von 1901 bis 1930 in Dresden, dessen Geburtstag sich 1984 zum 125. Male jährt.

Görges begann seine Tätigkeit als Hochschullehrer, als die Elektrotechnik als Wissenschaft und Produktivkraft ihren raschen Aufschwung nahm. Wie bei keinem anderen Gebiet waren in der Elektrotechnik Theorie, Experiment und Produktion von Anfang an auf das engste verbunden. Görges war einer der ersten Hochschullehrer, der aus der Großindustrie an die Hochschule berufen wurde, eine praxisorientierte Lehre durchsetzte und gemeinsam mit der Industrie zur damaligen Zeit relevante Aufgabenstellungen löste. Dazu gehören unter anderem die physikalische Begründung des Görges-Phänomens (siehe ELEKTRIE 38 (1984) 5) beim Anlauf und bei der Regelung von Wechselstrommotoren, seine Arbeit zur Theorie des asynchronen Wechselstrommotors und sein Lehrbuch „Grundzüge der Elektrotechnik". Als Direktor des Elektrotechnischen Instituts (1903 bis 1930) und Rektor der Technischen Hochschule Dresden (1914/15) hat er wesentlich zur Entwicklung der Starkstromtechnik als eigenständige Wissenschaftsdisziplin beigetragen.

Heute, da die Elektrotechnik/Elektronik zu den bedeutendsten Intensivierungsfaktoren unserer Volkswirtschaft zählt, hat sich die enge Bindung zwischen Wissenschaft und Produktion weiter vertieft. Das findet zum wiederholten Male seinen Ausdruck darin, daß der Minister für Elektrotechnik und Elektronik der DDR die Schirmherrschaft über unsere Konferenz übernommen hat und den Eröffnungsvortrag halten wird. Dies ist uns zugleich Ehre und Verpflichtung, um im 35. Jahr der Gründung unserer Deutschen Demokratischen Republik einen konkreten Beitrag zur Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Starkstromtechnik zu leisten.

Dazu stellt die Konferenz neue Forschungsergebnisse und deren industrielle Nutzung auf den Gebieten der elektrischen Automatisierungstechnik, der Hochspannungs- und Elektroenergietechnik sowie der elektrischen Maschinen zur Diskussion und schafft die Möglichkeit, über die Entwicklungstendenzen der energetischen Elektrotechnik mit in- und ausländischen Fachkollegen zu beraten. Im Mittelpunkt des Erfahrungsaustausches stehen vor allem Probleme der Anwendung von leistungselektronischen Bauelementen, der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik, der elektromagnetischen Verträglichkeit und Elektroenergiequalität, der Meß- und Prüftechnik, der Mittelspannungs- und Schaltanlagentechnik sowie von Ausgleichsvorgängen in Energieversorgungssystemen und die Auslegung elektrischer Maschinen.

In Plenarvorträgen werden die für den weiteren Fortschritt der energetischen Elektrotechnik entscheidenden Entwicklungstendenzen der komplexen Disziplinen Automatisierungstechnik, Werkstoffe und Technologien behandelt. In Poster-Diskussionen werden vor allem die Leistungen der Studenten und jungen Wissenschaftler vorgestellt.

Die aktive Teilnahme namhafter Wissenschaftler von den Partnerhochschulen der UdSSR und den anderen sozialistischen Ländern wird die langjährige Forschungszusammenarbeit zum gegenseitigen Nutzen weiter intensivieren.

Ich bin überzeugt, daß die 10. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden neue wertvolle wissenschaftliche Erkenntnisse vermitteln wird und damit die große wissenschaftliche Tradition fortsetzt und den hohen internationalen Ruf festigt, die nicht zuletzt durch Wissenschaftler wie Görges begründet wurden.

Allen Teilnehmern wünsche ich die Erfüllung ihrer in die Konferenz gesetzten Erwartungen und erlebnisreiche Tage in der Kunst- und Kulturstadt Dresden.

Besonderer Dank gilt der Redaktion der Zeitschrift ELEKTRIE, die mit den abgedruckten Beiträgen eine effektive Arbeitsweise auf der Konferenz ermöglicht.

EA 5420

PERSÖNLICHES

Prof. (em.) Dipl.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Kurt Pommer 80 Jahre

Es ist sicherlich eine der größten Freuden, die ein dem Geburtsdatum nach älter werdender Mensch haben kann, wenn er anläßlich eines Jubiläums feststellen darf, daß er körperlich und geistig, wie ehedem, voll auf der Höhe ist. Und wenn es sich dann noch zeigt, daß das, wofür dieser Mensch sich eingesetzt hat, daß die Projekte, an denen er gearbeitet, für die er selbst Grundsteine gelegt und Fundamente gesetzt hat, auch nach der Entpflichtung aus der Verantwortung sich seinen Vorstellungen entsprechend weiterentwickeln, dann darf der Jubilar mit Recht ein wenig stolz und glücklich sein.

Zu diesen Glücklichen zählt Professor *Kurt Pommer*, dessen Geburtstag sich am 5. Mai zum 80. Male jährt. Nach wie vor verfolgt er mit größter Aufmerksamkeit die Weiterentwicklung der unter seiner Leitung entstandenen Einrichtungen und Objekte, und die Ergebnisse derer, die sein Werk fortsetzen, bzw. derer, die aus seiner Schule hervorgegangen sind. Sein überaus erfolgreiches Schaffen während eines mehr als 40-jährigen Berufslebens als Entwicklungsingenieur, als Direktor eines Großbetriebes, als verdienter Hochschullehrer, Institutsdirektor und als Rektor der Technischen Hochschule Dresden wurde bereits mehrfach anläßlich vorangegangener Jubiläen in dieser Zeitschrift gewürdigt. Es soll deshalb an dieser Stelle, um seinen Weitblick, sein Talent in der Menschenführung, seine Menschenkenntnis und seine Fähigkeiten nochmals zu charakterisieren, lediglich an drei seiner markantesten Erfolge in seinem Berufsleben erinnert sein:

— Der VEB Sachsenwerk, der Stammbetrieb des VEB Kombinat Elektromaschinenbau wurde nach den verheerenden Auswirkungen des 2. Weltkrieges von Null beginnend, unter seiner Leitung wieder aufgebaut und mit Leben erfüllt. Er hat sich seitdem zum dominierenden Elektromaschinenbau-Betrieb der DDR entwickelt.

— 1952 wurde *Kurt Pommer* auf den Lehrstuhl für Elektromaschinenbau der TH Dresden berufen und leitete als Nachfolger von *Ludwig Binder* den weiteren Aufbau des am 13. Februar 1945 durch anglo-amerikanische Bomber bis auf die Grundmauern zerstörten Elektrotechnischen Instituts. Mit besonderer Aufmerksamkeit und mit Geschick widmete er sich der vorrangigen Aufgabe eines Hochschullehrers, der Herausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses zur Selbständigkeit und zum Verantwortungsbewußtsein. Die Früchte dieses Bemühens sind allein daraus erkennbar, daß mehr als 20 seiner ehemaligen Assistenten, Aspiranten und wissenschaftlichen Mitarbeiter mittlerweile als Professoren und Dozenten an den Hochschulen der DDR bemüht sind, in seinem Sinne weiter zu arbeiten.

— Nicht unerwähnt bleiben darf sein ständiges Bemühen und strategisch revolutionierendes Wirken in der Reformierung des Ausbildungsinhaltes für technische Disziplinen im gesamten Hochschulwesen der DDR, mit der Zielsetzung, die Lehrveranstaltungen weitestgehend von nur beschreibendem Stoff zu befreien, zugunsten einer soliden mathematisch-naturwissenschaftlichen Breitenausbildung und Praxisorientierung.

Der Redaktionsbeirat der Fachzeitschrift ELEKTRIE, dem er seit Jahrzehnten angehört, die Redaktion ELEKTRIE, seine mehrere hundert Absolventen, Fachkollegen und Freunde nutzen die Gelegenheit, ihm ein herzliches Dankeschön zu sagen und wünschen *Kurt Pommer* weiterhin alles Gute und beste Gesundheit.

W. Brendler EA 1681

Weitere Beiträge zur 10. Wissenschaftlichen Konferenz im Heft 5/84

Im Heft 5/1984 setzen wir mit folgenden Beiträgen die Berichterstattung zur 10. Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden fort.

Tzscheutschler, R.
Zur Technologie der energetischen Elektrotechnik

Vogt, K.; Bunzel, E.; Oswald, B.; Schubert, P.
Das Görgessche Phänomen — von der Entdeckung bis zur heutigen theoretischen Behandlung und praktischen Bedeutung

Conrad, H.; Güldner, H.; Prischmann, W.
Mikroelektronik in der Leistungselektronik

Kronberg, M.
Einführung in die Methode der Beschreibung von leistungselektronischen Schaltungen und Geräten mittels Zustandsgraphen

Hildebrandt, B.; Kunert, M.
Beitrag zur Ermittlung der maximalen Schaltfrequenz und Verlustleistung in Leistungsschalttransistoren

Hamzeh, A.
Betriebsprobleme des Energieversorgungsnetzes der Syrischen Arabischen Republik

Erlich, I.; Kunzmann, N.
Modellierung symmetrischer und unsymmetrischer Fehler im Elektroenergiesystem mit Hilfe von Schnittmengeninzidenzmatrizen

Brendler, W.; Ermisch, J.; Hoppadietz, F.
Zur Bereitstellung von Hilfsenergie zur Versorgung elektronischer Baugruppen für die Meß- und Schutztechnik in Elektroenergiesystemen

Löbl, H.; Böhme, H.
Die Resistanz von Schraubverbindungen in Geräten der Elektroenergieübertragung und ihr Einfluß auf deren Strombelastbarkeit

Habiger, E.
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) — Kenngrößen, Sicherung, Prüfung

Morozova, J. A.; Neklepaev, B. N.; Oswald, B.; Pundt, H.
Übergangsverhalten des Erregersystems VGT-4500-500 bei Kurzschlüssen am Generatorblock

*

Die im folgenden aufgeführten Beiträge gehören ebenfalls zu diesem Komplex, werden aber nicht in der Fachzeitschrift ELEKTRIE veröffentlicht.

Vogt, K.
Aktuelle Probleme der Auslegung, Berechnung und Prüfung elektrischer Maschinen und der Entwicklung neuartiger Wandler

Böhme, H.; Eberhardt, M.; Lemke, E.; Löbl, H.; Mosch, W.
Hochspannungstechnik und Hochspannungsgeräte

Habiger, E.
Programmierbare Steuerungen

Koettnitz, H.; Punt, Hd.; Winkler, G.
Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen

Die Redaktion

Johannes Görges – hervorragender Ingenieur, Forscher und Hochschullehrer der Elektrotechnik

K. Vogt, KDT; P. Schubert, KDT; Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Johannes Görges
21. 9. 1859 — 7. 10. 1946

Im Jahr 1984 jährt sich zum 125. Mal der Geburtstag und zum 100. Mal der Beginn der Ingenieur- und Forschertätigkeit von *Johannes Friedrich Heinrich Görges*. Diese Daten sind wohl Anlaß genug, um Rückschau zu halten auf ein erfülltes und erfolgreiches Leben für die Technik und Wissenschaft. Das von *Görges* erwählte Fachgebiet war die Elektrotechnik, die im Wechselspiel der naturwissenschaftlich-technischen Voraussetzungen und der gesellschaftlichen und technischen Triebkräfte zum ersten Besipiel der Geschichte für eine Verwissenschaftlichung der Technik wurde [1]. Im Jahr 1901 begann *Görges* seine Hochschullehrertätigkeit an der damaligen Technischen Hochschule Dresden. Wegen der von ihm aufrechterhaltenen engen Verbindung zu seiner bisherigen Wirkungsstätte, dem Forschungslabor im Siemens-Konzern, und der dadurch geknüpften engen Verbindung von Wissenschaft und Technik, hatte er maßgeblichen Anteil an der Verwissenschaftlichung der Elektrotechnik und wurde somit auch zu einem Mitbegründer des nationalen und internationalen Rufs der Dresdner Bildungsstätte auf diesem technischen Gebiet.

1. Stand der Elektrotechnik zu Beginn der Ingenieur- und Forschertätigkeit von Görges

1.1. Gleichstromtechnik

Am 17. März 1884 trat der Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik, *Görges*, fasziniert von dem raschen Aufschwung der Elektrotechnik, in das Konstruktionsbüro der Firma Siemens & Halske ein [2]. Dank der Siemensschen Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips und seiner Erfindung des Doppel-T-Ankers sowie der durch *Hefner-Alteneck*, dem Leiter des Siemensschen Konstruktionsbüros, verbesserten Kommutatorwicklung war die wirtschaftliche Erzeugung von Gleichstrom beachtlicher Leistung bereits möglich geworden [3]. Hauptverbraucher waren zunächst nur elektrische Bogenlampen zur Beleuchtung öffentlicher Gebäude, z. B. von Bahnhöfen und von Straßen, denen sich jedoch schon elektromotorische Antriebe, vor allem für Triebfahrzeuge, und Glühlampen hinzugesellt hatten. *Görges* fand also eine relativ gut entwickelte Gleichstromtechnik vor, die auch den derzeitigen gesellschaftlichen Anwenderbedürfnissen entsprach.

Doch schon bald zeigten sich die Grenzen der Gleichstromtechnik. Sie ergaben sich im wesentlichen aus der stark verlustbehafteten Energieübertragung, die nur wenige Kilometer Leitungslänge zuließ, und dem komplizierten Betrieb elektrischer Bogenlampen, als nach wie vor bedeutendstem Verbraucher elektrischer Energie. Dazu kam noch, daß der Bau einer funktionstüchtigen elektrischen Maschine mangels Erfahrungen reine Glückssache war. Das Bürstenfeuer — zunächst ein Zeichen für das Funktionieren der Maschine — zerstörte die Kommutatoren und Bürsten, die Ursachen der zu starken Erwärmung waren ungeklärt, Bemessungsregeln gab es noch nicht, so daß vor allem der Bau größerer Maschinen zu Fehlschlägen führte. Man wußte zwar seit Jahrzehnten, daß jede elektrische Maschine auch Wechselstrom abzugeben in der Lage war — und das sogar ohne Zwischenschaltung eines mit den bereits angedeuteten Problemen behafteten Kommutators —, jedoch gab es für den Wechselstrom kaum Verwendung, da attraktive Verbraucher fehlten. Dennoch sollte die Wechselstromtechnik den entscheidenden Durchbruch der Elektrotechnik auslösen.

1.2. Beginnende Wechselstrom- bzw. Drehstromtechnik

Mit der Entwicklung technisch brauchbarer Transformatoren und der Erkenntnis, daß transformatorisch hochgespannte Wechselströme eine um Größenordnungen höhere Effektivität der Energieübertragung zulassen, erfolgte der Anstoß für den Übergang zur Wechselstromtechnik. Dazu kam noch, daß mit der von *Jabločkov* erfundenen sehr einfach betreibbaren Lichtbogen-Kerze, die nur für Wechselstrombetrieb geeignet war, und der inzwischen ebenfalls erfundenen und in großen Stückzahlen hergestellten Kohlefaden-Glühlampe bedeutende Wechselstromverbraucher in Erscheinung traten. Brauchbare Motoren für Wechselstrom fehlten freilich immer noch, und die Effektivität der Energieübertragung war noch nicht praktisch bestätigt. Auch blieben die angedeuteten Auslegungsschwierigkeiten im Bau von Wechselstromgeneratoren und die Unklarheit über die Erwärmungsursachen bestehen. Lediglich die Bürstenfeuerprobleme wurden wegen des nicht mehr notwendigen Kommutators gegenstandslos. Die Zahl der Probleme, die nach einer Lösung drängten, nahm natürlich noch weiter zu, als brauchbare Drehstrommotoren erfunden wurden und die Effektivität der Wechselstrom- bzw. Drehstromübertragung praktisch nachgewiesen werden konnte. Vor dem jungen, in die berufliche Praxis eintretenden *Görges* tat sich also ein reiches Betätigungsfeld auf, dessen unerforschte Gebiete ihn zu erfolgversprechendem Wirken reizten.

2. Ingenieur- und Forschertätigkeit in der elektrotechnischen Industrie

2.1. Entwicklung der Wechselstrom- bzw. Drehstromtechnik [3] [4]

Mitte der 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts erfolgte der Bau technisch brauchbarer, eisengeschlossener Transformatoren akzeptabler Leistung. Damit war die wesentlichste technische Voraussetzung für eine effektive Wechselstrom- bzw. Drehstromübertragung gegeben. 1885 fand *Ferraris* die Möglichkeit, mit mehrphasigen Wechselströmen ein Drehfeld zu erzeugen. Diese Erfindung wurde zu einer der wichtigsten Voraussetzungen für den Bau einfacher Wechselstrom- bzw. Drehstrommotoren. Da ihm kein Mehrphasengenerator zur Verfügung stand, baute er einen Einphasenmotor mit Widerstandshilfsphase und einem Kupferzylinder als Läufer. Zwei Jahre später erfand *Haselwander* den dreiphasigen Drehstromgenerator und den Drehstrom-Synchronmotor bereits mit den heute üblichen Verkettungen in Stern- oder Dreieckschaltung. Er gab auch als erster ein Drehstrom-Übertragungssystem an. Mit der Erfindung des Drehstrom-Asynchronmotors mit Kurzschlußläufer im Jahr 1889 durch *Doliwo-Dobrowolski* stand nunmehr ein an Einfachheit nicht zu unterbietender Antriebsmotor zur Verfügung. Schließlich konnte 1891 noch die Leistungsfähigkeit der Drehstromübertragung mit der Fernübertragung von Lauffen am Neckar zum Ausstellungsgebäude der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt am Main nachgewiesen werden. Damit waren zwar alle Elemente für eine leistungsfähige Wechselstrom- bzw. Drehstromtechnik vorhanden, jedoch blieben noch so viele ungelöste Probleme und zu überwindende Hindernisse bestehen, daß der entscheidende Durchbruch zum umfassenden Einsatz in Industrie und Wirtschaft zunächst ausblieb.

Die Fachwelt war längst nicht einer Meinung über die Bedeutung der Elektrotechnik im allgemeinen und die Effektivität der einzelnen Stromsysteme im besonderen. Patente blockierten die Weiterentwicklung. es traten Probleme im Parallelbetrieb von Synchronmaschinen auf. Problematisch war auch die Drehzahlstellung von Drehstrommotoren. Es fehlten immer noch Auslegungsrichtlinien für elektrische Maschinen sowie geeignete Meßgeräte, besonders für die Messung von Wechsel- und Drehstromgrößen. Die Kenntnisse über den Wechsel- und Drehstrom waren wegen der komplizierteren Zusammenhänge gegenüber Gleichstrom und wegen fehlender theoretischer Grundlagen völlig unzureichend. Alle diese offenen Probleme stellten für *Görges* geradezu eine Herausforderung dar, sich ihrer anzunehmen. Und er nahm sich ihrer an, mit einem von Siegeszuversicht entfachten Forscherdrang.

2.2. *Görges* — ein Bahnbrecher der Wechselstromtechnik

Görges war davon überzeugt, daß eine Lösung der vielen bestehenden Probleme nur über den Weg einer Klärung der grundsätzlichen physikalischen Vorgänge und Zusammenhänge gehen konnte. In

Prof. Dr. sc. techn. *Karl Vogt;* Dr.-Ing. *Peter Schubert;* Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

diesem Sinne ist seine industrielle Forschertätigkeit gekennzeichnet durch eine tiefgründige experimentelle Untersuchung vor allem von Generatoren und Motoren mit dem Ziel, wenigstens eine qualitative Klärung der physikalischen Wirkungsmechanismen der ungeklärten Erscheinungen zu finden. Es zeigen sich in seinen Arbeiten aber auch schon erste Ansätze quantitativer Formulierungen. Für *Görges* beginnt der Prozeß der Verwissenschaftlichung der Elektrotechnik.

Seine ersten wissenschaftlichen Untersuchungen gelten dem Transformator als dem wesentlichsten Element der Übertragung von Elektroenergie. Nachdem bereits die vektorielle Darstellung (die heutige komplexe Methode) der Grundvorgänge bekannt war, zeigt er in einer theoretischen Arbeit, daß als Folge der nichtlinearen Magnetisierungskurven ferromagnetischer Werkstoffe der Verlauf des Stromes nicht mehr sinusförmig sein kann. Außerdem berücksichtigt er breits die Verluste durch Hysterese und Wirbelströme [5]. Zwei von *Görges* konstruierte Transformatoren sind auf den Bildern 1 und 2 (s. 3. US.) dargestellt.

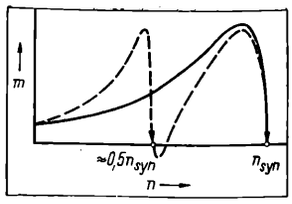
Auch dem Problem der Messung von Wechselgrößen nimmt sich *Görges* an. Er entwickelt und baut ein astatisches Elektrodynamometer für Spannungsmessungen (Bild 3, s. 3. US) [6] und einen Zähler für Wechselstrombetrieb (Bild 4, s. 3. US) [7]. Zur Auslegung von Dreheisen-Spannungsmessern gibt er als erster Formeln für die Bewicklung an und Hinweise zur Beseitigung von Fremdfeldeinflüssen [8].

Um die Skepsis gegenüber der Funktionstüchtigkeit eines verketteten Drehstromsystems ([9] [10]) zu entkräften, stellt *Görges* umfangreiche Untersuchungen an, in denen er auch die Wirtschaftlichkeit und andere Vorzüge dieses Systems nachweisen kann [9] [11]. Ihm gelingt auch die Zerstreuung der Bedenken, daß ein Drehstromsystem ungünstig für den Anschluß von Haushalten sei [12]. Zur Veranschaulichung der Wechsel- und Drehstromvorgänge zeigt er die praktische Anwendung der bereits erwähnten vektoriellen Methode auf die Darstellung von Problemen der Wechsel- und Drehstromtechnik, wobei er gleichzeitig die Möglichkeit der Leistungsmessung bei symmetrischer und unsymmetrischer Belastung untersucht und Gesichtspunkte für die Produktion eines entsprechenden Wattmeters entwickelt [7] [13].

Sein besonderes Augenmerk gilt jedoch den elektrischen Maschinen für Wechsel- und Drehstrombetrieb: den Generatoren als unabdingbare Basis für eine leistungsfähige Elektrotechnik und den Motoren als zukunftsträchtige Antriebsmaschinen. Bereits 1891 veröffentlicht er Untersuchungen über Wechselstrommotoren [14], wobei er erstmalig nicht nur das Prinzip und den Bau von Drehstromkommutatormotoren beschreibt (Bild 5, s. 3. US), sondern auch den Einfluß der Bürstenstellung auf Spannungsinduktion, Drehzahl, Drehrichtung und Phasenverschiebung, sowie den Einfluß der Wicklungsgestaltung auf die Drehfeldform behandelt. Damit war der erste Drehstrommotor mit verlustarmer Drehzahlstellung erfunden worden. Weitere Untersuchungen befassen sich mit der Klärung der Probleme des Anlassens von Drehstrommotoren [15] und mit den Schwingungen parallelarbeitender Drehstromgeneratoren, die vor allem dann auftraten, wenn sie von Kolbenkraftmaschinen angetrieben wurden [16] [17]. Im Jahre 1892 wird unter der Leitung von *Görges* in Erding am Sempt in Oberbayern das erste kommunale Kraftwerk gebaut [18]. Während jedoch in Lauffen am Neckar ein Klauenpolgenerator zum Einsatz kam, erfolgt hier sehr wahrscheinlich erstmals die Aufstellung zweier von *Görges* mitkonstruierter Drehstromgeneratoren mit Schenkelpolrad und einer an der inneren Mantelfläche des Ständers in Nuten angeordneten Drehstrom-Ankerwicklung. Nach [19] sind solche Maschinen (Bild 6, s. 3. US), die auch als Motor Verwendung fanden, in größerer Stückzahl im Leistungsbereich von 25 bis 335 kW gebaut worden. Mit diesem Maschinentyp liegt prinzipiell bereits die heutige Innenpol-Bauweise vor.

Im Jahre 1896 entdeckt *Görges* [20] das nach ihm benannte Phänomen, daß ein Drehstrom-Schleifringläufer bei Unterbrechung eines Stranges seiner Wicklung nur bis zur halben Nenndrehzahl hochläuft. Zwar erkennt er als Ursache eine durch die entstandene Läuferunsymmetrie verursachte 2. Harmonische im Drehmomentverlauf (Bild 7), kommt aber ansonsten über eine im wesentlichen beschreibende Darstellung nicht hinaus, obwohl bei ihm zu diesem Zeitpunkt bereits Ansätze einer analytisch quantitativen Behandlung der Probleme zu erkennen sind [9] [11] und eine erste Veröffentlichung über die Theorie des Asynchronmotors vorliegt [21], in der er in Anlehnung an die Theorie des Transformators die Spannungsgleichung der Ständerwicklung, die Ständerflußverkettung und die Berechnung des Drehmoments darstellt. Bemerkenswert ist, daß er dabei eine Art Zweiachsentheorie entwickelt.

Bild 7. Görges-Phänomen
Drehmomentverlauf
——— bei symmetrischem Läufer
- - - - - bei unsymmetrischem Läufer



Diese theoretisch-quantitative Betrachtungsweise prägt sich bei *Görges* in der Folgezeit immer stärker aus; sie führt zu ersten wissenschaftlich fundierten Auslegungsgesichtspunkten für elektrische Maschinen [16] [17] und kommt während seiner Hochschullehrertätigkeit an der Technischen Hochschule Dresden zur vollen Entfaltung.

3. Forscher und Hochschullehrer an der Technischen Hochschule Dresden

3.1. Elektrotechnik wird Weltmacht

Am 1. April 1901 beginnt *Görges* als Ordinarius für Elektrotechnik seine Hochschullehrertätigkeit. Die Elektrotechnik hatte einen Grad der Verwissenschaftlichung erreicht, daß die emporstrebende elektrotechnische Industrie in der Lage war, funktionstüchtige elektrische Maschinen zu bauen und die durch leistungsfähige Generatoren erzeugte elektrische Energie zuverlässig an jeden beliebigen Einsatzort zu übertragen. Dabei hatte sich die Wechsel- bzw. Drehstromtechnik als leistungsfähigstes Elektroenergiesystem endgültig durchgesetzt. Der einfache und robuste Asynchronmotor wurde für normale Antriebsaufgaben stärker eingesetzt und verdrängte mehr und mehr die Dampfmaschine. Auch für spezielle Antriebe standen entsprechende Motoren zur Verfügung. In der Beleuchtungstechnik hatte die Glühlampe — zunächst ausgeführt als Kohlefadenlampe — ein breites Anwendungsfeld gefunden und wurde in großen Stückzahlen produziert. Dank dieses Standes der Elektrotechnik war die wesentlichste Basis für den Beginn einer wissenschaftlich-technischen Revolution gegeben. So sieht es auch *Görges*, der zu seinem Amtsantritt einem Kollegen auf die Frage: „*Was wollen Sie eigentlich noch? Die Städte haben ihre Zentralanlagen und ihre elektrischen Bahnen, was bleibt noch zu tun übrig?*“ antwortet: „*Oho, jetzt kommen erst einmal die industriellen Betriebe, vor allem die Berg- und Hüttenwerke an die Reihe, die stellen Aufträge für 10 Jahre. Dann werden wir weitersehen*“ [10]. Und *Görges* hat weitergesehen.

Es kommt die Zeit des Übergangs vom Zentralantrieb zum Einzelantrieb und zur immer stärkeren Integration des Elektromotors in den Antriebsmechanismus. Die Garantie für gesicherte Parameter und der Trend zur Steigerung der Leistung einer elektrischen Maschine fordern eine treffsichere Vorausberechnung, d.h. eine noch stärkere wissenschaftliche Durchdringung und anspruchsvollere Quantifizierung des inneren physikalischen Wirkungsmechanismus. Der enorm wachsende Bedarf an Elektroenergie, auch infolge der Erfindung der besseren und billigeren Metallfadenlampe, die in den Folgejahren endgültig das Gasglühlicht aus Haushalt, Industrie und öffentlichen Gebäuden sowie aus den Verkehrsmitteln verdrängt, erzwingt eine Steigerung der Übertragungsspannung, zwecks Effektivierung der Energieübertragung, und eine Modernisierung der Kraftwerksanlagen, die mit der Erfindung der Dampfturbine als leistungsfähigem Antrieb großer Generatoren auch eine wesentliche Voraussetzung findet. Die Elektrotechnik wird zur Weltmacht.

3.2. Die Bedeutung von *Görges* im Prozeß der weiteren Verwissenschaftlichung der Elektrotechnik

Mit *Görges* wird nach einer Reihe von Physikern der Lehrstuhl für Elektrotechnik der Technischen Hochschule Dresden erstmals mit einem profilierten Elektrotechniker besetzt, der als vormaliger Chefkonstrukteur und Chefelektriker nicht nur seinen reichen Schatz an praktischen Erfahrungen und seine Fähigkeit, auf der Basis wissenschaftlicher Untersuchungen technische Probleme lösen zu können, mitbringt, sondern auch, wie bereits angedeutet worden ist, seine Verbindung zum Siemens-Forschungslabor aufrechterhält und die dort begonnenen Arbeiten fortsetzt. In diesem Sinne führt er auch die theoretischen Arbeiten zum Betriebsverhalten von Wechselstrommotoren weiter, wobei er seine Zweiachsentheorie weiter ausbaut [22] [23]. Die Untersuchungen über parallelarbeitende Synchronmaschinen werden von ihm ebenfalls fortgesetzt, wobei er ein optisches Verfahren zur Messung von Polradwinkeln entwickelt [24] [25].

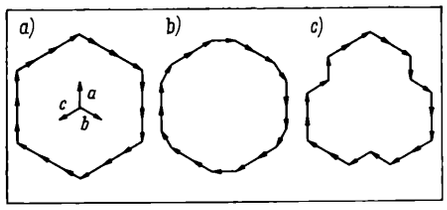


Bild 8. Durchflutungsvieleck nach *Görges*
a) Einschicht-Ganzloch-Wicklung
b) gesehnte Zweischicht-Ganzloch-Wicklung
c) gesehnte Einschicht-Ganzloch-Wicklung

Auch mit den Problemen der Auslegung elektrischer Maschinen beschäftigt sich *Görges* in verstärktem Maße weiter. 1906 veröffentlicht er seine Untersuchungen zur Auslegung von Kommutatorwicklungen [26], die in der Angabe von Wicklungsbegriffen, Wicklungsgesetzen und Wicklungsformeln ihren Niederschlag finden. Ein Jahr später bezieht er in seine Betrachtungen auch Ein- und Mehrphasenwicklungen ein [27], wobei er das heute nach ihm benannte Durchflutungsvieleck entwickelt (Bild 8), mit dessen Hilfe sehr leicht die augenblickliche Feldverteilung, der Luftspaltfluß und die induzierte Spannung ermittelt werden können. Es läßt auch die unmittelbare Beurteilung einer Wicklung im Hinblick auf die Güte des erregten Drehfeldes zu. Einen gewissen Abschluß seiner Arbeiten zur Theorie und Auslegung von Drehstrommotoren bilden die Untersuchungen zu einer einheitlichen Betrachtungsweise von Asynchron- und Einphasen- sowie Mehrphasen-Kommutator-Motoren [28], wobei er die bereits erwähnte Zweiachsentheorie als Basis für eine Klassifizierung der verschiedenen Motorarten und Wicklungen verwendet.

Inzwischen ist auch das von *Görges*, ohne Vorbilder nachzuahmen, weitestgehend selbst so weitsichtig als Forschungs- und Lehrstätte konzipierte Gebäude des Elektrotechnischen Instituts entstanden und 1905 eingeweiht worden (Bild 9, s. 4. US), daß es heute noch den Anforderungen einer modernen Forschung und Lehre genügt [29] [30]. Es enthält gut eingerichtete Laboratorien für den experimentellen Unterricht in der Starkstromtechnik, einen Maschinensaal (Lichthof) für Untersuchungen an Motoren und Generatoren, Zeichensäle des Lehrstuhls Elektromaschinenbau sowie einen großen und einen kleineren Hörsaal. Im Lichthof dieses Gebäudes, das heute den Namen Görgesbau trägt, unternimmt *Görges*, zur wissenschaftlichen Vorbereitung der ersten 110-kV-Drehstromleitung Europas, die von Lauchhammer nach Riesa geplant war und auch gebaut worden ist, hochspannungstechnische Untersuchungen zur Klärung der Koronaerscheinungen [31]. Das war wegen der mangelnden Kenntnisse und Erfahrungen für solch hohe Übertragungsspannungen notwendig. In der Folgezeit wird im genannten Lichthof die erste Versuchsanlage zur Erforschung von Wanderwellen aufgebaut und in Betrieb genommen.

Als Hochschullehrer zeichnet sich *Görges* durch eine verständliche und überzeugende Darstellung des dem neuesten Stand der Technik entsprechenden, den Studenten zu vermittelnden Wissensstoffes aus. Diese meisterlich beherrschte pädagogische Fähigkeit verband sich mit dem unablässigen Streben nach wissenschaftlich einwandfreier Terminologie. Davon zeugen nicht nur seine diesbezüglichen Veröffentlichungen (z. B. [32]), sondern auch sein 1913 erscheinendes Lehrbuch über die Grundzüge der Elektrotechnik. In diesem Buch stehen z. B. konsequent unterschieden die Begriffe: Feld- und Induktionslinien statt der in mehrfacher Hinsicht unklaren Bezeichnung Kraftlinien. Auch lehnt *Görges* die Benennung einer physikalischen Größe nach einer ihrer Maßeinheiten ab, z. B. die Benennung „Amperewindungen" für die Durchflutung. Natürlich ist uns das heute alles selbstverständlich. Aber vor 70 Jahren (und sogar noch vor 35 Jahren) war es das eben nicht. Seine Vorstellungen von den Fähigkeiten, die ein Hochschulabsolvent haben muß, sind genauso klar wie heute noch gültig. In seiner Antrittsrede zum 2jährigen Rektorat der Technischen Hochschule im Jahre 1914 spricht er von der dreifachen Sprache des Ingenieurs, bzw. von den drei Ausdrucksmitteln, die er zu beherrschen hat: Zeichnung, Formel und Sprache [5]. Die Zeichnung ist notwendig als ein anschaulicher Ausdruck seiner schöpferischen Gedanken, die Formel als mathematisches Darstellungsmittel der von ihm erkannten Gesetzmäßigkeiten mit dem Ziel der technischen Anwendbarkeit und die Sprache bzw. die Schrift als universelles Kommunikationsmittel, das nur dann auch ein rationelles wird, wenn der Schreiber sie im Sinne der Spezifik des darzustellendes Gegenstandes exzellent beherrscht.

Mit diesen wenigen Bemerkungen über den Hochschullehrer *Görges*, der selbstverständlich die Laborübungen seiner Studenten selbst leitet, der mit ihnen Exkursionen unternimmt, der in persönlichen Sorgen und Nöten ihr Ratgeber ist und der sich mit ihnen und seiner Hochschule so verbunden fühlt, daß er 1912 eine ehrenvolle Berufung nach Berlin als Nachfolger von *Slaby* ablehnt, soll das Bild über *Görges* abgerundet werden [2]. Im Jahre 1930 wird *Görges* von seinen amtlichen Pflichten entbunden, aber noch jahrelang ist er in vielen Gremien als geschätzter Gutachter wissenschaftlich tätig. Am 7. Oktober 1946 endet ein erfolgreiches Wissenschaftlerleben, das in glücklicher Weise auch äußere Anerkennung gefunden hat. Von den vielen Ehrungen sollen hier nur genannt werden: die 1900 erfolgte Auszeichnung mit dem Grand Prix auf der Pariser Weltausstellung, die Verleihung der Ehrendoktorwürde der Technischen Hochschule Berlin im Jahre 1914 und die Ehrenmitgliedschaften vieler bedeutender technisch-wissenschaftlicher Vereinigungen.

4. Schlußbetrachtungen

Die Betrachtungen über *Görges* und sein technisch-wissenschaftliches Wirken, was nur in den wesentlichsten Zügen geschehen konnte, sollen nicht ohne dessen Ausstrahlungen auf unsere Zeit abgeschlossen werden. Über die noch gültige Bedeutung seiner hochschulpädagogischen Prinzipien ist schon einiges gesagt worden. Auch laufen noch viele Drehstrom-Kommutatormotoren nach dem von *Görges* erfundenen Prinzip. Und so manche seiner Theorien gilt, wenn auch weiterentwickelt, heute noch. Zwei von seinen Werken haben jedoch beträchtlich an Bedeutung gewonnen: das Görges-Phänomen und das Görges-Polygon der Durchflutungen.

Das Görges-Phänomen hat große Bedeutung beim heute gebräuchlichsten Anlaßverfahren von Synchronmotoren — dem asynchronen Anlauf, der das asynchrone Drehmoment der Dämpfer- und der kurzgeschlossenen Erregerwicklung nutzt. Nun stellt aber zumindest die kurzgeschlossene Erregerwicklung mit den Schenkelpolen eine Läuferunsymmetrie wie im Falle eines Drehstrom-Asynchronläufers mit einem unterbrochenen Strang dar. Man hat jedoch gelernt, daß das „Hängenbleiben" bei der halben Nenndrehzahl von den Wicklungsparametern abhängt [33], so daß man über eine geeignete Wicklungsauslegung den gewünschten Asynchronhochlauf sicherstellen kann.

Von *Görges* ist das Vieleck der Durchflutung zur Ermittlung der augenblicklichen Feldverteilung im Luftspalt und damit auch des Luftspaltflusses und der induzierten Spannung verwendet worden. Da damals nur Einschichtwicklungen bekannt waren, kommt er zur Erkenntnis, daß ein mehrphasiger Strom ein regelmäßiges 2-m-Eck liefert (Bild 8a). Inzwischen hat man kennengelernt, daß bei Wicklungssehnung entweder die Ecken des Vielecks abgefast (Bild 8b) oder, bei der seltenen, gesehnten Einschichtwicklung, eingeknickt (Bild 8c) werden. Und während bei Ganzlochwicklungen unter jedem Polpaar das gleiche Vieleck entsteht, ist das bei Bruchlochwicklungen nicht mehr der Fall. Man hat weiter gefunden, daß die Abweichungen des Vielecks von einer Kreisform (die einem Grundwellenfeld entspricht) ein Maß für die Oberwellen des erregten Luftspaltfeldes ist. Man erkennt demnach auf den ersten Blick, ob eine Wicklungsordnung ein stark oberwellenhaltiges Feld erzeugt. Ist das Vieleck zentral- und axialsymmetrisch (Bilder 8a und 8b), so treten nur ungeradzahlige Oberwellen auf; ist es das nicht (Bild 8c), so sind auch geradzahlige Oberwellen vorhanden. Darüber hinaus läßt sich über das Durchflutungsvieleck auf außerordentlich günstige Weise die Oberwellenstreuung ermitteln [34]. Mit dem Durchflutungsvieleck hat demnach *Görges* den Grundstein für ein modernes Berechnungsverfahren elektrischer Maschinen gelegt.

Literatur

[1] *Vogt, K.; Schubert, P.:* 100 Jahre Lehre und Forschung über elektrische Maschinen an der Technischen Universität Dresden im Blickwinkel der technischen und gesellschaftlichen Entwicklung. Wiss. Zeitschrift der TU Dresden 32 (1983) 6, S. 181

[2] *Klaus, W.:* Görges-Bau. In: Gebäude und Namen, Technische Universität Dresden. Hrsg. Der Rektor 1978, S. 57

[3] *Vogt, K.:* 100 Jahre elektrische Maschinen in Lehre und Forschung in Dresden. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 3, S. 117 – 120

[4] *Dettmar, G.:* Die Entwicklung der Starkstromtechnik in Deutschland. Berlin: ETZ-Verlag 1940

[5] *Bormann, H.-P.:* Johannes Görges (Kurzbiographie). Belegarbeit an der Technischen Universität Dresden 1977

[6] *Görges, H.:* Über ein neues Dynamometer für Spannungsmessungen von Siemens & Halske. ETZ 11 (1890), S. 694

[7] *Görges, H.:* Graphische Darstellung des Wechselpotentials und ihre Anwendung. ETZ 19 (1898) S. 164

[8] *Görges, H.:* Spannungszeiger von Siemens & Halske. ETZ 11 (1890) S. 567

[9] *Görges, H.:* Vergleichende Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit des Ein- und Mehrphasenstroms. ETZ 16 (1895) S. 46

[10] *Görges, H.:* Rückblick auf die Entwicklung der Starkstromtechnik. Sonderdruck aus den Verbandsmitteilungen des Dresdner Elektrotechnischen Vereins 27 (1932) S. 7

Fortsetzung auf Seite 128

Stand und Weiterentwicklung der Werkstoffe für die Elektrotechnik[1)]

O. Henkel, KDT, Dresden

Bei der gezielten Werkstofforschung, z. B. bei dem Konstruktionswerkstoff Stahl, bei der Veredlung eines Werkstoffes durch Oberflächenmodifizierung oder -beschichtung, bei der Entwicklung von Verbundwerkstoffen und pulvermetallurgischer Werkstoffe einschließlich keramischer Konstruktionswerkstoffe, werden die Sonderwerkstoffe heute und in den kommenden Jahrzehnten in erster Linie das Entwicklungsniveau und -tempo in der wissenschaftlich-technischen Revolution bestimmen [1].

1. Magnetwerkstoffe

1.1. Weichmagnetische Werkstoffe

Bei dieser Werkstoffklasse gilt das Interesse besonders den Kennwerten Sättigungsmagnetisierung, Magnetisierungsfeldstärke und Ummagnetisierungsverluste (bei Transformator- und auch Dynamoblechen) sowie der Schleifenform und Permeabilität. Der Erhöhung der Sättigungsmagnetisierung sind Grenzen gesetzt, die bisher nicht überwunden werden konnten, und dazu sind auch keine Ansätze vorhanden. Ganz anders ist das mit den Ummagnetisierungsverlusten, wie Bild 1 zeigt. Seit 1910 sind sie vom warmgewalzten Elektroblech mit mehr als 2,5 W/kg (bei 1,5 T und 50 Hz) auf die sogenannte HI-B-Qualität mit 0,7 W/kg verbessert worden. Prinzipiell kann dieser Wert noch erniedrigt werden beim Übergang zu amorphen Strukturen, die aber für Elektrobleche in den gegenwärtigen Konstruktionen noch keine große Bedeutung haben. Sicher könnte eine weitere Verbesserung der HI-B-Bleche für die Nutzung in Transformatoren wichtig erscheinen, aber die Werkstoffhersteller sind an der Grenze des technologisch Beherrschbaren in der Großproduktion angelangt. Immerhin ist für die gegenwärtig auf dem Markt angebotenen HI-B-Bleche allein in der Einhaltung der Vorzugsrichtung eine Präzision von nur $\pm 3°$ notwendig. Bei diesem Spitzenwerkstoff gelang durch eine geeignet gewählte Isolationsschicht auf dem kornorientierten Blech auch noch eine zusätzliche Reduzierung der Blechwandabstände und damit der Wirbelstromverluste. Die Wirkung kann mit dem Aufbringen einer Zugspannung in Walzrichtung erklärt werden.

Für rotierende Elektromaschinen besteht die Forderung nach Verbesserung der Elektrobleche mit isotropen magnetischen Eigenschaften. Sicher war mit der Produktionsaufnahme von unsilizierten sogenannten semifinished-Blechen ein gewisser Markstein 1970 gesetzt. Die Vorteile dieses Bleches sind aber mit dem in der Bewertung des Finalproduktes steigenden Nachteil der hohen Unmagnetisierungsverluste verbunden. Die weitere physikalische Grundlagenforschung ist auf legierte Bleche mit in der Bandebene isotropen Eigenschaften und zugleich niedrigeren Unmagnetisierungsverlusten gerichtet. Durch den Aufbau des Konverterstahlwerkes in der DDR sind legierungsseitig und aufgrund der Reinheit die Voraussetzung zur Erschmelzung solcher Dynamobleche gegeben. Es wird aber noch ein beschwerlicher Weg von der Grundlagenforschung bis zum Endwalzen und Schlußglühen in wenigen Jahren zurückzulegen sein.

Bei den weichmagnetischen Werkstoffen mit besonderem Permeabilitätsverhalten für Steuer-, Schalt- und Schutzzwecke soll zunächst die weitere Verbesserung der Anfangspermeabilität von kristallinen FeNi-Legierungen im Bild 2 gezeigt werden.

Nicht spektakuläre Entwicklungen, sondern Werkstoffverbesserungen und -modifikationen sowie Eigenschaftskombinationen für die gestellten Anforderungen haben das Bild der Weiterentwicklung geprägt, wie die Bereitstellung von weichmagnetischen Werkstoffen

- für Impulsanwendungen, d. h. solchen mit einer flachen Hystereseschleife, die niedrige Verluste sowie hohe Werte des Impulshubes und der -permeabilität bei unipolarer Aussteuerung aufweisen. Bild 3 illustriert die für kristalline Legierungen durch geeignete Wärmebehandlung erreichbaren Formen der ungescherten Hystereseschleife und
- für gleichstromempfindliche Fehlerstromschutzschalter.

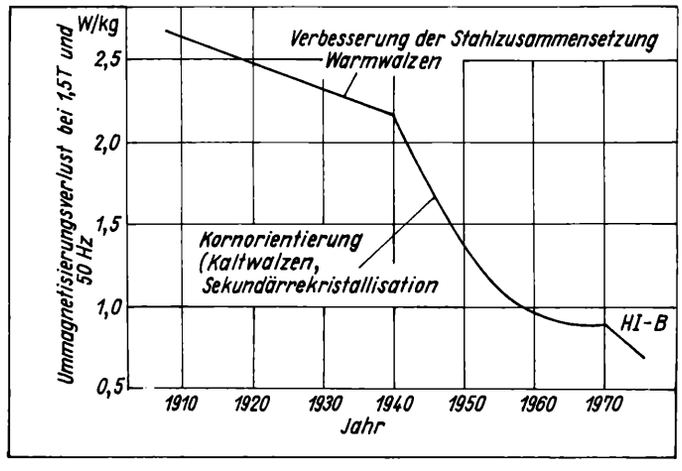


Bild 1. Verbesserung der Ummagnetisierungsverluste von Elektroblechen in den letzten Dezennien

Prof. Dr.-Ing. *Otto Henkel* ist Ordentliches Akademiemitglied und im Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung der AdW der DDR tätig.

[1)] Übersichtsvortrag zur 10. Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion Elektrotechnik

Fortsetzung von Seite 127

[11] *Görges, H.:* Ausgiebigkeit der Ankerwicklung bei Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom. ETZ 13 (1892), S. 236

[12] *Görges, H.:* Drehstrom zu häuslichen Zwecken. ETZ 17 (1896), S. 117

[13] *Görges, H.:* Über den Drehstrom und seine Messung. ETZ 12 (1891) S. 213

[14] *Görges, H.:* Mitteilung über neuere Untersuchungen an Wechselstrommotoren. ETZ 12 (1891) S. 699

[15] *Görges, H.:* Anlassen der Elektromotoren, speziell der Drehstrommotoren. ETZ 15 (1894), S. 644

[16] *Görges, H.:* Bemerkungen über den Parallelbetrieb mit Wechselstrommaschinen. ETZ 21 (1900), S. 29

[17] *Görges, H.:* Über das Verhalten parallelgeschalteter Wechselstrommaschinen. ETZ 21 (1900), S. 188

[18] *Ose, K.:* 100 Jahre schalten, steuern, schützen. Ein Beitrag zur Geschichte der Niederspannungsschaltgeräte in Deutschland. Hrsg. Klöckner – Moeller Elektrizitäts-GmbH, Bonn 1982, S. 28

[19] Katalog der von den Firmen Siemens & Halske und Siemens-Schuckertwerke gestifteten Gegenstände für das Deutsche Museum. Dortmund: Krüger-Verlag 1906

[20] *Görges, H.:* Drehstrommotoren mit verminderter Tourenzahl. ETZ 17 (1896), S. 517

[21] *Görges, H.:* Zur Theorie der asynchronen Wechselstrommotoren. ETZ 16 (1895), S. 750, 768, 789, 804

[22] *Görges, H.:* Über einige Diagramme zum asynchronen Wechselstrommotor. ETZ 24 (1903), S. 271

[23] *Görges, H.:* Zur Theorie des asynchronen Wechselstrommotors. ETZ 24 (1903), S. 691

[24] *Görges, H.:* Über den Parallelbetrieb bei Wechselstrommaschinen. ETZ 23 (1902), S. 1053

[25] *Görges, H.:* Über die Messung der Voreilung parallel arbeitender Wechselstrommaschinen. ETZ 31 (1910), S. 332

[26] *Görges, H.:* Kommutatorwicklungen. ETZ 27 (1906), S. 301

[27] *Görges, H.:* Die Berechnung der EMK von Mehr- und Einphasenwicklungen auf Grund eines Vektordiagrammes der Feldstärke. ETZ 28 (1907), S. 1

[28] *Görges, H.:* Das Verhalten von Wechselstrommotoren in einheitlicher Betrachtungsweise. ETZ 28 (1907), S. 730, 758

[29] Die Neubauten der Königlich Sächsischen Technischen Hochschule zu Dresden. Druckschrift der Technischen Hochschule Dresden (1905), S. 39

[30] *Brendler, W.; Mosch, W.:* Experimentelle Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden seit der Errichtung des ersten elektrotechnischen Lehrstuhls. Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 27 (1978) 1, S. 131

[31] *Görges, H.; Jaensch, A.; Weidig, P.:* Über die Versuche zur Bestimmung der Koronaverluste auf Freileitungen. ETZ 32 (1911), S. 1071

[32] *Görges, H.:* Einheitliche Bezeichnungen mechanischer und elektrischer Größen. ETZ 23 (1902), S. 993

[33] *Müller, G.; Reiche, H.; Vogt, K.:* Elektrische Maschinen. In: Taschenbuch Elektrotechnik, Hrsg. E. Philippow, Bd. 5, S. 67; Berlin: VEB Verlag Technik 1980

[34] *Schuisky, W.:* Berechnung elektrischer Maschinen. Wien: Springer-Verlag 1960

EA 5404

Mögliche kompositionelle und topologische Neuentwicklungen der weichmagnetischen Werkstoffe sind durch die unzähligen mehrkomponentigen Legierungen (nicht nur 3d-Übergangsmetalle oder „exotische" Verbindungen) oder Anwendung extremer Behandlungen für den kommerziellen Maschinenbau vorerst nicht in Aussicht.

1.2. Hartmagnetische Werkstoffe

Ein relativ hohes Entwicklungstempo hatten aufgrund der Raumfahrtanforderungen sowie des notwendigen Einsatzes importsensibler Rohstoffe die Dauermagnetwerkstoffe, die teilweise bereits in den kommerziellen Bereich eingreifen. Bild 4 zeigt, daß das maximale Energieprodukt von 1945 mit etwa 30 auf 230 im Jahre 1975 und in diesem Jahr auf 350 kWs/m³ verbessert wurde. Freilich ist dieser Wert nicht das einzige Kriterium für die Anwendung, es kommt weiter auf die Koerzitivfeldstärke, die Temperaturabhängigkeit, die Stabilität, die Verarbeitbarkeit, den Preis usw. an.
Die lawinenartige Entwicklung nach dem 2. Weltkrieg hat ihren Ursprung in der strategischen Forschung bzw. der Raumfahrt und ist durch intermetallische Phasen von Seltenerd-Übergangsmetallen geprägt. Im Bild 5 ist die Sättigungsmagnetisierung für die Seltenerd-Kobalt-Verbindungen RCo_5 und R_2Co_{17} sowie R_2Fe_{17} gezeigt.
Die Forschungen zu den Seltenerd-Eisen-Verbindungen wurden meines Wissens schon etwa 1970 eingestellt zugunsten der RCo_5-Verbindungen. Im Jahre 1983 wurde jedoch eine Nd_xFe_y-Verbindung mit einem Energieprodukt $(BH)_{max} = 350\ kWsm^{-3}$ bekannt.

1.3. Metallische Gläser

Metallisches Glas ist bindungsmäßig ein Metall. Die für die metallische Bindung charakteristischen freien Elektronen verhindern das Hindurchtreten elektromagnetischer Wellen und machen metallische Gläser prinzipiell undurchsichtig.
Heute werden die metallischen Glasbänder-, -drähte und -profile durch weitgehende Unterdrückung des Prozesses der Keimbildung und des Keimwachstums durch geeignete Wahl der Zusammensetzung und insbesondere eine Schnellabkühlung hergestellt, d. h., durch Überschreiten eines kritischen Wertes der Abkühlung zwischen Liquidustemperatur und der sogenannten Glastemperatur entsteht ein Zustand, den wir mit amorph oder aber aus struktureller oder kompositioneller Sicht mit ungeordnet, präziser weitgehend ungeordnet oder aus thermodynamischen Gründen mit metastabil bezeichnen [2]. Bezüglich der verschiedenen Arten der Unordnung in derartigen Festkörpern läßt sich folgende Klassifikation treffen (Bild 6):

- kompositionelle Unordnung, auch substitutionelle oder zellulare Unordnung genannt
- topologische, auch strukturelle oder positionelle Unordnung
- Unordnung der magnetischen Momente, wie sie oberhalb der magnetischen Ordnungstemperatur auftritt.

Ferner neigt man heute dazu, auch von elektronischer Unordnung zu sprechen. Darunter sind angeregte Atome zu verstehen, die eine Ungleichheit in den elektronischen Zuständen der Atome des betrachteten Systems bewirken.
Im Jahre 1981 wurden weltweit nur wenige Tonnen metallischer Gläser für die Elektrotechnik und Elektronik mit Bandbreiten von 1 bis 50 mm (z. T. bis 100 mm) und Banddicken von 20 bis 60 µm bei einem Preis von 110 bis 550 DM/kg hergestellt. Die bisherige Kostensenkung beträgt jährlich etwa 25 %. Eine internationale Prognose sagt für das Jahr 1990 einen Preis von 5 bis 100 DM/kg voraus, und zwar für

- eisenreiche Legierungen 5—10 DM/kg mit 100000 t
- Ni- und Ni-Fe-Legierungen 15—30 DM/kg mit 10000 t und
- Magnettonköpfe und flexible Abschirmungen 80—100 DM/kg mit 1000 t Produktion.

Die Preise sind abhängig vom Produktionsumfang für Großabnehmer wegen der Kombination großer Härte, hoher Abriebfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit für Reifenkord bei Einsparung aller Prozeßstufen von der Schmelze bis zum fertigen Draht, aber auch für Motorteile, Turbinenschaufeln, Lötfolien, Rasierklingen, Magnetseparatoren, Sensoren, Diebstahlsicherungselemente u. a. Wenn zur Drehzahlerfassung nur ein Zahn auf einem Schwungrad mit 2 kg Metglas für 300000 Motoren z. Z. benötigt wird, dürfte der obengenannte Preis für eisenreiche Legierungen kaum negativ ins Gewicht fallen. Weitere Großabnehmer sind die Luft- und Raumfahrt sowie die Chemie zur Auskleidung von Reaktionsgefäßen und als Katalysator, z. B. zur Hydrierung von Kohlenmonoxid.
Die Tafel 1 zeigt für einige Anwendungen in der Elektrotechnik/Elektronik mit bisherigen Lösungen den Versuch einer technischen

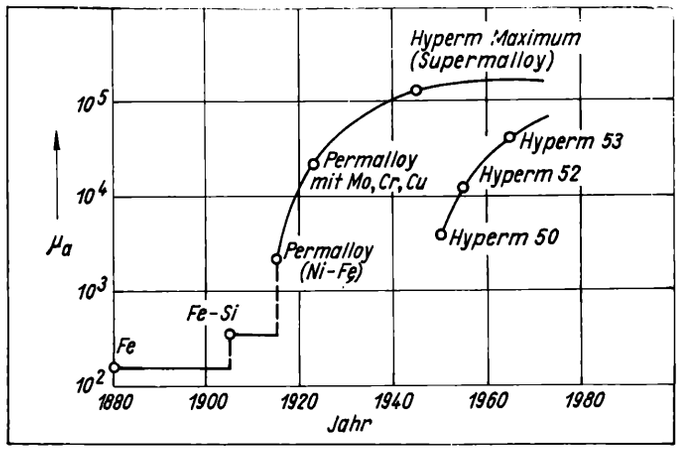


Bild 2. Verbesserung der relativen Anfangspermeabilität μ_a metallischer weichmagnetischer Werkstoffe

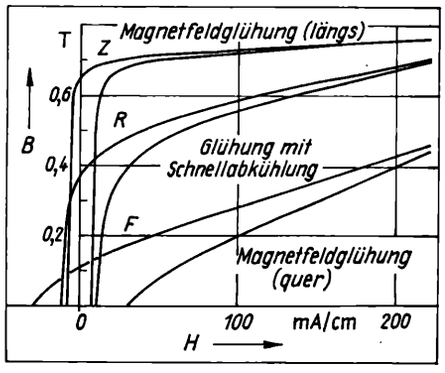


Bild 3. Erreichbare Formen der Hystereseschleife von kristallinen, weichmagnetischen Legierungen durch Wärmebehandlung

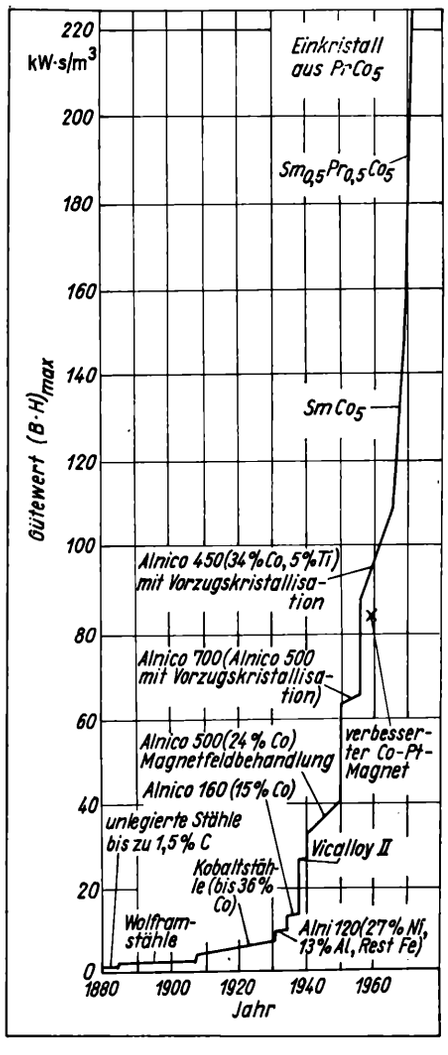


Bild 4. Verbesserung des $(BH)_{max}$-Wertes von Permanentmagneten in den letzten 100 Jahren

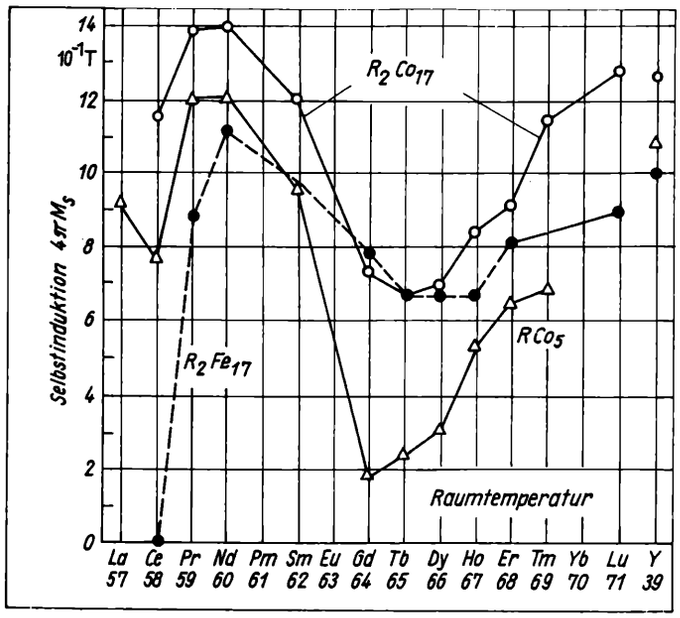


Bild 5. Sättigungsmagnetisierung intermetallischer Verbindungen vom Typ Seltenerd R mit Kobalt und Eisen

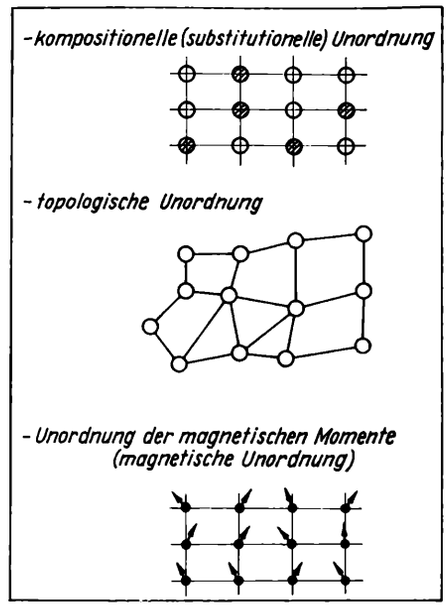


Bild 6. Illustration der verschiedenen Arten von Unordnung

Bewertung. Im Vordergrund stehen neben den ungewöhnlichen mechanischen Eigenschaften bei weichmagnetischen Werkstoffen insbesondere die niedrigeren Unmagnetisierungsverluste, z. B. von eisenreichen Legierungen mit 80 % Fe gegenüber kornorientiertem Siliziumblech mit 3,5 % Si. Die Produktion von duktilem Metglas mit wesentlich höheren Siliziumgehalten bis 6 % ist möglich, aber die noch größeren Vorteile scheinen bei höheren Frequenzen mit beispielsweise 400 Hz zu liegen. Das trifft auch für Schaltnetzteile der Leistungselektronik zu, bei denen sich die derzeitige Frequenz von 20 kHz auf 50 bis 100 kHz verschieben kann (z. B. Übertrager mit 100 kHz, 180 W, 40 × 40 × 20 mm oder Transduktor mit 30 × 30 × 20 mm bei 100 kHz). Die Maximalpermeabilität kann bereits jetzt auf 1 Million angehoben werden. Abschließend sei erwähnt, daß die Produktion über die Musterbereitstellung hinausgeht und sich Firmenneugründungen (z. B. USA speziell für Motoren) oder Spezialisierungen abzeichnen. Die Zurückhaltung von Konstrukteuren ist bezüglich dieses neuen Werkstoffes mit noch ungenügender Erprobung verständlich, allerdings werden über viele Einsatzgebiete strategischer Art die Informationen absichtlich spärlich gehalten.

2. Leiterwerkstoffe

2.1. Verbundwerkstoffe für die Elektrotechnik

Es sei eingangs darauf hingewiesen, daß kupferummantelte Aluminiumdrähte nunmehr zum Stand der Technik gehören[2]). Die Cu-Ummantelung auch von Eisen- oder Stahlkerndrähten ist mit der Durchsetzung des Hochleistungsziehverfahrens prinzipiell möglich. Eine besondere Rolle dürfte der Kombination von Kupfer und Stahl in Profilform bei der weiteren Elektrifizierung der Eisenbahnen zukommen.

Metallische Verbundwerkstoffe geben jedoch auch die Möglichkeit, mit konventioneller Technologie ihrer Herstellung Eigenschaften zu kombinieren, die in Legierungen aufgrund gegenläufiger Wirkung an engere Grenzen gebunden sind [3]. Um Alternativen von Kupfer-Stahl-Verbunden gegenüber den in der Elektrotechnik verwendeten Legierungen zu erkennen, sei auf Bild 7 verwiesen. Die Verbunde sind den Bronzen und Messingen überlegen; bei gleicher Leitfähigkeit kann der Cu-Anteil von 90 bis 60 auf etwa 15 % gesenkt oder bei gleich hohem Cu-Anteil die Leitfähigkeit von 5 bis 10 auf 30 Sm^{-1} erhöht werden. Solche importsensiblen Legierungselemente, wie Sn, Be, Zn, könnten ebenfalls eingespart werden, wenn Kupfer als Träger der Leitfähigkeit mit für solche Zwecke beliebig verfügbarem Stahl kombiniert würde, zumindest für stromführende Bauteile.

Tafel 1. Anwendung metallischer Gläser und Bewertung bisheriger Lösungen

Bewertung	Legierung	Angestrebte Eigenschaften	Bisherige Lösungskristalle	Technische Bewertung Vorteile	Nachteile
50-Hz-Trafo	Fe	geringe Verluste hohe Sättigung	E-Blech (3,2 Si)	Red. d. ges. Verl.	Vol. ↑, Preis ↑
Fehlerstromschutzschalt.	Fe FeNi	μ_i, μ_{max} hoch	50 NiFe, 80 NiFe	Preis ↓	–
400-Hz-Trafo	Fe	Verluste ↓, B_H ↑	3,2 SiFe (0,1 µm)	Masse ↓	
Leistungsüberträger	Fe FeNi	Verluste ↑ flache Hysterese	Ferrite	Bauvol. ↓	Preis
Speicherdrossel	Fe FeNi	flache Hysterese	Ferrite, 50 NiFe Pulver-Permalloy	Bauvol. ↓	Preis
Transduktoren	FeNi Co	Verluste ↓ Rechteck-Schleife	80 NiFe (≦ 0,03 µm)	Preis (kein aufwend. Walzen)	–
Flex. Abschirmung	Co	μ ↑, spannungsempfindlich	–	höhere Abschirmfaktoren Materialeinsparung	
Video-/ Audiomagnetköpfe	Co	μ ↑ bis zu hohen Frequenzen stanzbar, ätzbar, Abrieb und Korrosion ↑	Ferrite; Hart-Permalloy; Sendust	abriebfester	

2.2. Supraleiter

Die Supraleiter haben die Physik und die Werkstoffwissenschaft in den letzten Dezennien beachtlich beschäftigt. Es muß leider eingangs festgestellt werden, daß es bisher keine zu Erfolgen führende Theorie zu Werkstoffen mit kritischen Temperaturen bis in die Nähe der Siedetemperatur des Stickstoffes bei Atmosphärendruck gibt.

Dem Einsatz von Supraleitern in elektrischen Maschinen wird noch keine praktische Bedeutung beigemessen, dagegen scheint der Durchbruch bei der Magnetscheidung und in der Medizin für die Abschirmung zur Tomographie des Menschen sicher zu sein. Die Perfektion der Herstellung zeigt Bild 8.

2.3. Superionenleiter

Das Gebiet der Superionenleiter hat sich zu einem Teilgebiet der Festkörperphysik entwickelt. Es ist z. T. eng verknüpft mit den amorphen Festkörpern aufgrund der unregelmäßigen Verteilung der im superionischen Zustand den Ladungstransport bestimmenden Ionen einerseits und den quasi-eindimensionalen Leitern aufgrund des Ionentransportes in „Kanälen". Ein solcher Leiter besteht aus zwei Sorten Ionen, von denen eine davon ein regelmäßiges Gitter besitzt, die andere aber nicht an bestimmte Plätze gebunden ist. Sie diffundieren und bilden eine Art geladener Flüssigkeit. In der Regel wird der Transport von Kationen bestimmt (Na^+, Ag^+ u. a.), neuerdings kennt man solche, bei denen der Transport von Anionen (z. B. F^-) getragen wird. Von den Superionenleitern seien nur einige genannt: Ag_2S, AgJ, PbF_2, CaF_2, CuJ, $SrCl_2$.

Interessant sind die Superionenleiter für

— Batterien mit hohen Energie- und Ladungsdichten, langer Lagerfähigkeit im geladenen Zustand, Spannungskonstanz usw.

[2]) Es sei beispielsweise auf die vom VEB Schwermaschinenkombinat „Ernst Thälmann", Magdeburg, im VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck" Berlin, aufgestellte Einrichtung verwiesen.

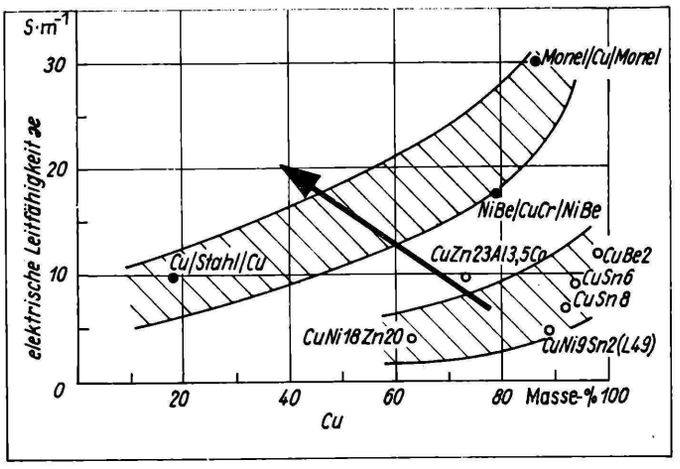


Bild 7. Elektrische Leitfähigkeit von Verbunden und Legierungen in Abhängigkeit vom Kupfergehalt

◀

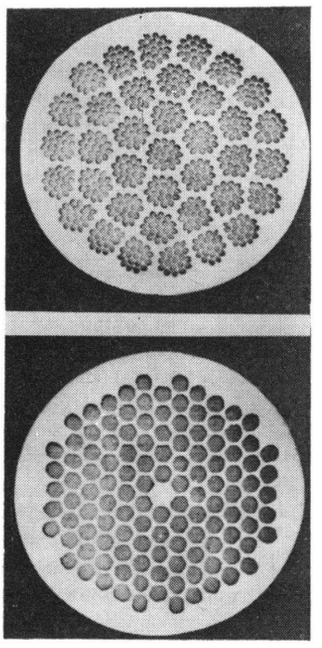


Bild 8. Perfektion der Herstellung von Mehrkern-Supraleitern

▶

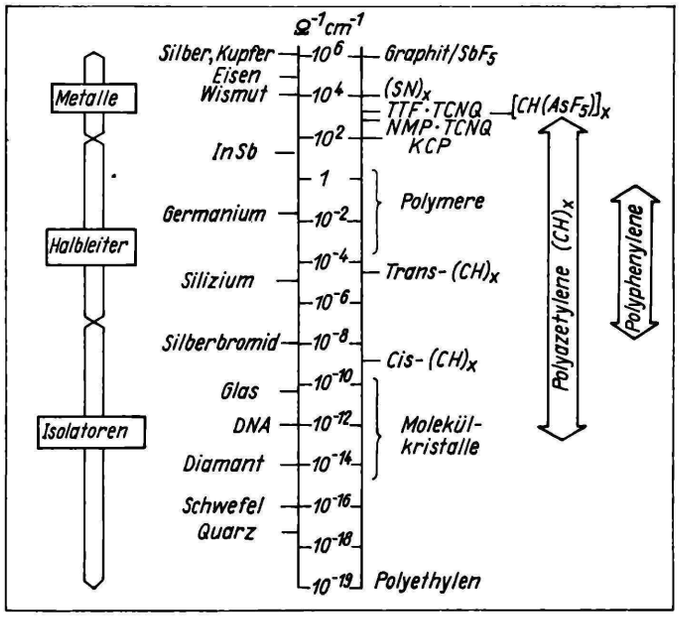


Bild 9. Gegenwärtiger Stand auf dem Gebiet der leitfähigen Stoffe

◀

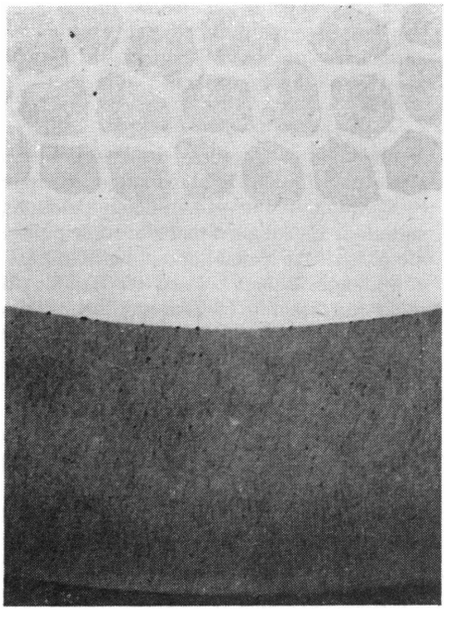
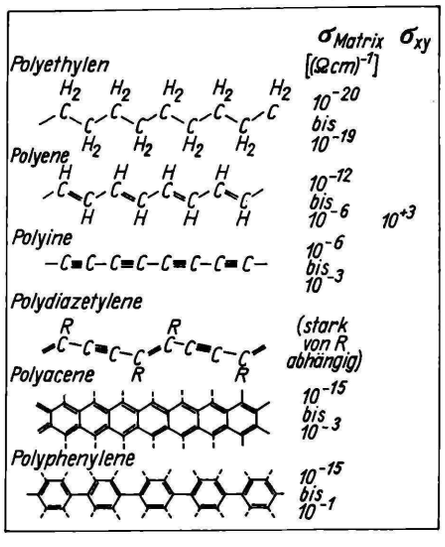


Bild 11. Ausschnitt aus einem Faserverbund (Ni-Fasern in einer Ag-Matrix mit äußerem Kupfermantel) für Niederspannungs-Starkstromkontakte

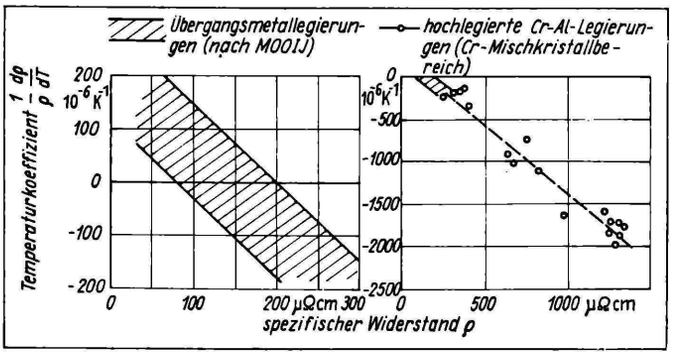
▶



◀

Bild 10. Elektrische Leitfähigkeit einiger polykonjugierter Strukturen

Bild 12. Temperaturkoeffizient von Metallen und Legierungen in Abhängigkeit vom spezifischen Widerstand



(Natrium-Schwefel-Zellen mit einer theoretischen Energiedichte von 760 Wh/kg gegenüber dem Blei-Akku mit 45 Wh/kg)
- Kondensatoren hoher Kapazität (z. B. $RbAg_4J_5$ mit 10 Farad im Temperaturbereich von − 55 bis + 75 °C).

2.4. Synthetische Metalle

Diese international als „Synthetic Metals" bezeichneten polykonjugierten Kohlenstoffverbindungen nehmen gegenwärtig in der Forschung aller industriell hochentwickelten Länder bei der staatlichen Finanzierung vordere Plätze in der Rangfolge ein. Das Bild 9 charakterisiert den gegenwärtigen Stand auf dem Gebiet der leitfähigen Stoffe.

2.4.1. Eindimensionale Systeme

Auffallend ist das weitgefächerte Spektrum der organischen als auch anorganischen Polymere. Allein die Polyacetylene überstreichen etwa 15 Größenordnungen in der Leitfähigkeit. Sofern Dotierungen oder eine Interkalation vorgenommen werden, wird beim Cis-Polyacetylen die Leitfähigkeit von $10^{-9}\ \Omega^{-1}cm^{-1}$ auf 10^3 und nunmehr schon auf 10^4 angehoben. Im Bild 10 ist eine Zusammenstellung polykonjugierter Strukturen gezeigt. Zunächst sind einige fundamentale Fragen, wie

- Elektronenstruktur und mögliche Mechanismen des Ladungstransportes in eindimensionalen Systemen
- Erklärung der Eigenschaften dotierten Polyacetylens auf der Grundlage des Solitonenmechanismus
- solitäre Lösungen und ihre Bedeutung bei extrem nichtlinearen Erscheinungen

noch ungenügend geklärt. Dennoch sind großangelegte Versuche von mit Arsenpentaflurid AsF_5 dotierten Polyacetylenen für Energiespeicher mittlerer Energien im Gange. Die Energiedichte wird mit 180 Wh/kg angegeben.

2.4.2. Zweidimensionale Systeme

Nachdem das Interesse an interkaliertem Graphit als typisches zweidimensionales System zugunsten der Polymere kurzzeitig zurückgegangen war, scheint eine Belebung in der Forschung stattzufinden. Es sei zunächst daran erinnert, daß in der Schichtebene die elektrische Leitfähigkeit von Graphit vergleichbar mit der von guten metallischen Leitern wie Kupfer und Aluminium ist. Die Ursache für die hohe elektrische Leitfähigkeit ist darin zu sehen, daß innerhalb der Graphitschichtebenen nur 3 oder 4 Valenzelektronen gebunden sind. Da die nicht gebundenen Elektronen bevorzugt einer Schicht angehören und nur selten von einer Schicht zur nächsten wechseln, leitet der Graphiteinkristall den elektrischen Strom senkrecht zu den Schichtebenen sehr schlecht (in mancher Hinsicht Halbleiter-Verhalten) [4]. Die Interkalation von Akzeptoren ist günstiger als die von Donatoren. Auch hier führt bis jetzt Antimonpentafluorid zu Spitzenwerten bis in die Nähe der Leitfähigkeit von Kupfer. Allerdings wird für interkalierten Graphit eine metallische Umhüllung benötigt. Fragen der Beständigkeit, der Herstellung geeigneten Graphits u. a. stehen noch an.

2.5. Sonder-Leiterwerkstoffe

Das umfangreiche Gebiet spezieller Leiter- und Kontaktwerkstoffe kann nur gestreift werden. Die Auswahl und der jeweilige Umfang sind kein Gradmesser.

2.5.1. Sonderkohlenstoff-Werkstoffe

Eines der Hauptanwendungsgebiete in der Elektrotechnik sind „Bürsten" und Schleifringe zur Kontaktbildung. Die Entwicklung geht viele Wege, und die Ergebnisse eines Weges können umgehend andere beeinflussen. Poröse Graphitkörper werden z. B. mit Metallen getränkt. Die metallimprägnierten Stromübertragungselemente für hohe Belastungen sind wohl noch nicht als abgeschlossen anzusehen. Die Tafel 2 zeigt weitere Anwendungen. Wie weit Ergebnisse aus der Raketen-, Reaktor-, Raumfahrt- und Hochtemperaturtechnik wieder Einfluß auf Werkstoffe der Elektrotechnik haben, ist von Fall zu Fall zu entscheiden.

2.5.2. Mehrfachfaserverbund für Niederspannungs-Starkstromkontakte

Um gute elektrische Leitfähigkeit, hohe elektrische Lebensdauer und geringe Schaltstückerwärmung zu verbinden, werden Silber-Dispersionswerkstoffe (AgCdO und AgNi) eingesetzt. Im Hinblick einer Weiterentwicklung scheint ein Anteil von unedlen Bestandteilen von mehr als 15 Masseprozent die schalttechnischen Anforderungen nicht mehr zu gewährleisten. Neuere Überlegungen haben

Tafel 2. Sonderkohlenstoff-Werkstoffe

Bezeichnung	Relevante Eigenschaften	Hauptanwendungsgebiete (teilw. potentiell)
1. Spezialgraphit	• Lichtbogenfestigkeit • Thermoschockfestigkeit • hohe mechanische Festigkeit • geringe Benetzbarkeit • gute Gleiteigenschaften • hohe Wärmeleitfähigkeit	Elektroden (in der Metallurgie bis 600 mm ⌀), Bürsten, Abnehmerkontakte, Kupplungen, Bremsen u. a.
2. Glasartiger Kohlenstoff	• geringe Permeabilität und „effektive Reaktionsfähigkeit" • Gewebeverträglichkeit	Hochtemperatur- und Vakuumtechnik, Medizin, Tiegel für Metallverdampfung
3. Pyrolyitischer Kohlenstoff	• geringe Permeabilität und niedrige Wärmeleitfähigkeit (senkrecht zur Schichtebene)	Reaktor- und Raketentechnik, Monochromator für Röntgenstrahlen und Neutronen
	• hohe Anisotropie • quasieinkristalline Eigenschaften • hohe Härte und Festigkeit	Polarisation von Photonen, HT-Öfen

zu einem Faserverbund mit nur 50 % Ag, 25 % Ni und 25 % Cu geführt, wo Nickelfasern in einer Silbermatrix mit äußerem Kupfermantel eingelagert sind (Bild 11). Mit zunehmender Faseranzahl bis zu etwa 400 bei 100 mm Durchmesser der Schaltstücke verringert sich der Abbrand beachtlich.

2.5.3. Überspannungs-, -strom- und -temperatur-Schutzwerkstoffe

Als neuer Werkstoff für den Überspannungsschutz im Nieder- und Mittelspannungsbereich kann der Zinkoxid-Massevaristor eingesetzt werden. Für den Überstrom- bzw. Übertemperaturschutz kommen nach wie vor Bimetalle zur Anwendung. Es werden aber auch ferroelektrische Kaltleiter und neuerdings dotiertes Vanadinoxid (V_2O) mit Metall-Isolator-Übergang Verwendung finden. Bei den Heißleitern, den Thermistoren, zeichnen sich gegenwärtig keine gravierenden Werkstoffentwicklungen ab.

2.5.4. Leiterwerkstoffe mit einem kleinen Temperaturkoeffizienten

Bis vor nicht langer Zeit galt der Übergang des Temperaturkoeffizienten des Widerstandes von positiven zu negativen Werten zwischen 100 und maximal 200 $\mu\Omega$cm als gesetzmäßig (Bild 12). Die Erniedrigung des Widerstandes bzw. die Erhöhung des Leitwertes ist trotz aller Bemühungen theoretischer Konzepte, beispielsweise zum Spinglas, bisher praktisch nicht gelungen. Dagegen gelang zunächst mit Chrom-Aluminium-Legierungen die Einstellung eines beachtlich negativen Temperaturkoeffizienten des Widerstandes. Chrom-Silizium-Wolfram-Sauerstoff-Verbindungen und insbesondere in amorpher Form führten zu einer Erhöhung auf 1000 $\mu\Omega$cm mit TK = 0. Im Labormaßstab wurden bereits 25000 $\mu\Omega$cm erreicht, d. h., der Widerstand mit einem Temperaturkoeffizienten von annähernd Null in der Nähe der Raumtemperatur wurde um das 200fache erhöht.

3. Isolierwerkstoffe

Die Behandlung aller Isolierwerkstoffe ist in diesem Rahmen nicht möglich, so daß nur auf einige Probleme der organischen und anorganischen Isolierwerkstoffe in fester Form eingegangen werden soll.

3.1. Feste organische Isolierwerkstoffe

Die Basis für diese Werkstoffgruppe bilden die organischen Polymere, und man hat sie in den letzten Jahren besser kennengelernt. Das elektrische Eigenschaftsbild wird durch die Existenz langzeitstabiler Raumladungen geprägt, und das Verständnis ist nur über die Dynamik der Überschußladungen zu erklären, d. h., der Ladungstransport ist ein typischer Aspekt der räumlichen und zeitlichen Umverteilung von Überschußladungen. Der Ladungsprozeß erfolgt ausschließlich durch Besetzung und Umbesetzung von Zuständen in der verbotenen Zone. Die Ansätze für die Übergangswahrscheinlichkeiten entsprechen denen spezieller Hoppingprozesse. Der Betrag der gespeicherten Raumladung erfordert die Berücksichtigung der Besetzung der Zustände und der Vorgeschichte des elektronischen Zustandes des Systems (Semi-Markoffsche Prozesse).

Mit Hilfe des Verbundprinzips versteht man es immer besser, gute Isoliereigenschaften mit hoher Steifigkeit, Festigkeit und Bruchzähigkeit oder angepaßter thermischer Ausdehnung und Wärmeleitfähigkeit zu kombinieren. Die Isoliereigenschaft korreliert nicht nur mit dem Volumenanteil der Einlagerung, sondern auch mit der

geometrischen Form sowie der Gefügeausbildung. Es existiert eine gut ausgearbeitete Theorie der linearen Materialreaktionen von Verbundwerkstoffen mit regelmäßigen und speziellen regellosen Einlagerungen, die eine hinreichend exakte Vorausberechnung ihrer linearen dielektrischen, elastischen und thermischen Eigenschaften gestattet. Hingegen sind die nichtlinearen Materialreaktionen, insbesondere das Langzeitverhalten, nur begrenzt berechenbar [5].

3.2. Feste anorganische Isolierwerkstoffe

Die glasartigen Keramiken und Keramiken selbst stehen weiter im Blickpunkt der Forschung, und wohl keine andere Werkstoffgruppe ist in den letzten Jahren so in Fluß geraten. Keramik mit hohem Al_2O_3-Gehalt zeichnet sich bei guter Temperaturwechselbeständigkeit zusätzlich durch eine gute Wärmeleitfähigkeit aus.
Die guten mechanischen und elektrischen Eigenschaften dieser Keramik sind auch bereits auf die Kombination mehrerer Oxide zurückzuführen, d.h. eine Verbundbildung. Mit dem Einbau geeigneter teilchenförmiger Zweitphasen kann durch lokale Eigenspannungszustände bzw. spannungsinduzierte Phasenumwandlungen die Rißausbreitung behindert werden (K_c-Werterhöhungen um 3 bis 4). Die Einlagerung von Kurzfasern mit einem Volumenanteil unter 10% führt zu Bruchfestigkeitssteigerungen um den Faktor 10 bis 100. Letztlich können auch hier durch Oberflächenbeschichtung (Schichtverbunde) weitere Verbesserungen erreicht werden.

4. Neuartige Werkstoffe für den Glimmschutz

Aus der Entwicklung von halbleitenden, elastischen Verbunden mit Siliconkautschuk als Matrix und eingelagerten Rußteilchen für Tastaturen u.a. scheint seit einigen Jahren ein interessanter Werkstoff auch für die Elektrotechnik zu werden. In den technologisch bedingten Luftspalten zwischen Wicklungsoberfläche und Nutwand des geschichteten Elektroblechpakets von rotierenden Hochspannungsmaschinen kommt es bekanntlich zu elektrischen Oberflächenentladungen, die durch den Einfluß elektromagnetischer Kräfte noch besonders ausgeprägt werden. Die energieintensiven Nutentladungen beeinträchtigen Lebensdauer und Betriebssicherheit der Generatoren, sie führen zu Defekten an der Isolation, lockern die Wicklungen u.a. und werden somit zu einem volkswirtschaftlich bedeutenden Faktor.
Die ersten Versuche in Turbogeneratoren sind erfolgreich verlaufen, so daß nunmehr die breitere Einführung in das Isoliersystem von Hochspannungswicklungen für Turbogeneratoren einschließlich deren optimale Technologie begonnen werden kann [6]. Zusätzlich sind Angaben zur Rußkonzentration und den Werkstoffeigenschaften enthalten. Eine neue Generation von Freiluftdurchführungen für Schwefelhexafluorid SF_6-Schaltanlagen benutzt ebenfalls mit Erfolg Siliconelastomere als Isolierschirme.
Der besondere Vorteil der Siliconelastomere beruht darauf, daß unter der zusätzlichen Beanspruchung hoher elektrischer Felder bzw. der Einwirkung von Entladungen in der Grundstruktur der Si—O-Kettenmoleküle ein nicht elektrisch leitfähiges Spaltprodukt SiO_2 gebildet wird. Auch örtlich hohe Temperaturen führen nur zu einem silikatischen Molekülaufbau. Letztlich untererückt die Hydrophobie der Siliconelastomere die Ausbildung elektrich leitfähiger Bahnen bei wasserlöslichen Verschmutzungen.

Literatur

[1] *Henkel, O.; Lange, W.; Schatt, W.:* Stand und Entwicklungstendenzen der Werkstoffwissenschaft. Plenarvortrag der Akademie der Wissenschaften der DDR 1983 (erscheint als Sitzungsbericht)
[2] *Henkel, O.:* Ungeordnete Festkörper – Ausgangspunkt neuer Werkstoffklassen. Sitzungsbericht der AdW der DDR 5N (1981)
[3] *Paul, H.; Vetter, D.; Förster, W.; Schöfberger, W.; Weber, F.:* Schichtverbunde für die Elektrotechnik. Neue Hütte (1982) 27, S. 405
[4] *Henkel, O.:* Kohlenstoffwerkstoffe mit besonderen physikalischen Eigenschaften. Sitzungsbericht der AdW der DDR 8N (1978)
[5] *Pompe, W.:* Verbunde als Isolierwerkstoffe. Taschenbuch der Elektrotechnik, Bd. 1, 2. Auflage, Berlin: VEB Verlag Technik (im Druck)
[6] *Wich, H.; Müller, F.:* Glimmschutz für Hochspannungswicklungen in elektrischen Maschinen. Vortrag auf der Fachtagung „Werkstoffe der Elektrotechnik" (1983) in Maxen (unveröffentlicht)

EA 5402

Zur Entwicklung der Automatisierungstechnik

H. Töpfer, KDT, Dresden

1. Ziele und Trends

Die Automatisierung von Maschinen, Aggregaten, Ausrüstungen, Anlagen und technischen sowie ökonomischen und anderen nichttechnischen Prozessen ist international zunehmend das entscheidende Mittel zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität, Steigerung der Qualität und Erhöhung der Konkurrenzfähigkeit von Erzeugnissen und Prozessen.
Die Ergebnisse der zielgerichteten Automatisierung finden unter anderem ihren Niederschlag in der Beherrschung der zunehmend komplizierter werdenden Aufgaben, der Verbesserung der Ökonomie durch Einsparung von Arbeitskräften, Material und Energie, der Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von automatisierten Objekten und Prozessen sowie in der Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen.
Bei der Einschätzung der Entwicklungstendenzen der Automatisierungstechnik stehen drei Aspekte im Vordergrund:

- die Entwicklung der Verfahren, der technologischen Prozesse, Maschinen, Ausrüstungen usw. als Automatisierungsobjekte
- die Entwicklung der Bauelemente, Geräte und rechentechnischen Mittel (Mikrorechner)
- die Entwicklung der Mittel und Methoden zur Schaffung ingenieurtechnischer Leistungen.

Dabei gewinnt die interdisziplinäre Arbeit zunehmend an Bedeutung.
Die Mittel der Automatisierungstechnik werden zunehmend integrierter Bestandteil von technologischen Prozessen, Maschinen, Ausrüstungen, Aggregaten und Anlagen. Immer mehr Einrichtungen sind ohne Automatisierung nicht mehr zu betreiben.
Die Fortschritte in der Bauelemente-, Geräte- und Rechentechnik einschließlich der Meßtechnik, auf der Basis der Mikro- und Optoelektronik sind nach wie vor Hauptinitiator für Innovationen.
Das erreichbare Automatisierungsniveau wird wesentlich von der Entwicklung und effektiven Nutzung moderner theoretischer Methoden für Entwurf, Projektierung, Bau und Inbetriebnahme von Automatisierungssystemen — unter besonderer Förderung der Software-Entwicklung — bestimmt.
Die technischen, ökonomischen, ergonomischen und sozialen Effekte von Automatisierungslösungen sind wesentlich von der automatisierungsgerechten Gestaltung der Automatisierungsobjekte, vor allem hinsichtlich der verfahrens- und prozeßspezifischen Meß-, Stell- und Bedientechnik abhängig. Das erfordert bereits in der Konzipierungsphase technologische und technische Lösungen die weitgehende Beachtung automatisierungstechnischer Gesichtspunkte.
Durch die wachsende Anwendungsbreite der Automatisierung stoffwandelnder, stoffumformender, energetischer und informationeller Prozesse werden davon nahezu alle Bereiche der Volkswirtschaft in zunehmendem Umfang betroffen. Dieser Trend unterstreicht einerseits die Breitenwirkung und andererseits den Querschnittscharakter der Automatisierungstechnik. Der Umfang und das Niveau der Automatisierung sind heute bereits weitgehend Spiegelbild für das Leistungsvermögen einer Volkswirtschaft.
Die zukünftige Entwicklung ist gekennzeichnet durch den anhaltenden Zuwachs der funktionellen Leistungsfähigkeit der Automatisierungstechnik für die Grundaufgaben Prozeßüberwachung, Prozeßsicherung, Prozeßbilanzierung, Prozeßstabilisierung, Prozeßführung und Prozeßoptimierung durch die weitere Entwicklung, Beherrschung und Einbeziehung der Mikroelektronik, Mikrorechentechnik, Optoelektronik, Sensorik, Stelltechnik und der Softwareleistungen, der modernen Steuerungs-, Entwurfs- und Inbetriebnahmestrategien, bei der Lösung der anstehenden Aufgaben.
Die wachsende Leistungsfähigkeit ist zu sichern für die Bereiche der Klein-, Mittel- und Großautomatisierung sowie für die unterschiedlichen Niveaustufen in verschiedenen Anwendungsgebieten der Automatisierungstechnik.

Prof. Dr. sc. techn. *Heinz Töpfer* ist Wissenschaftsbereichsleiter an der Sektion Informationstechnik der TU Dresden.

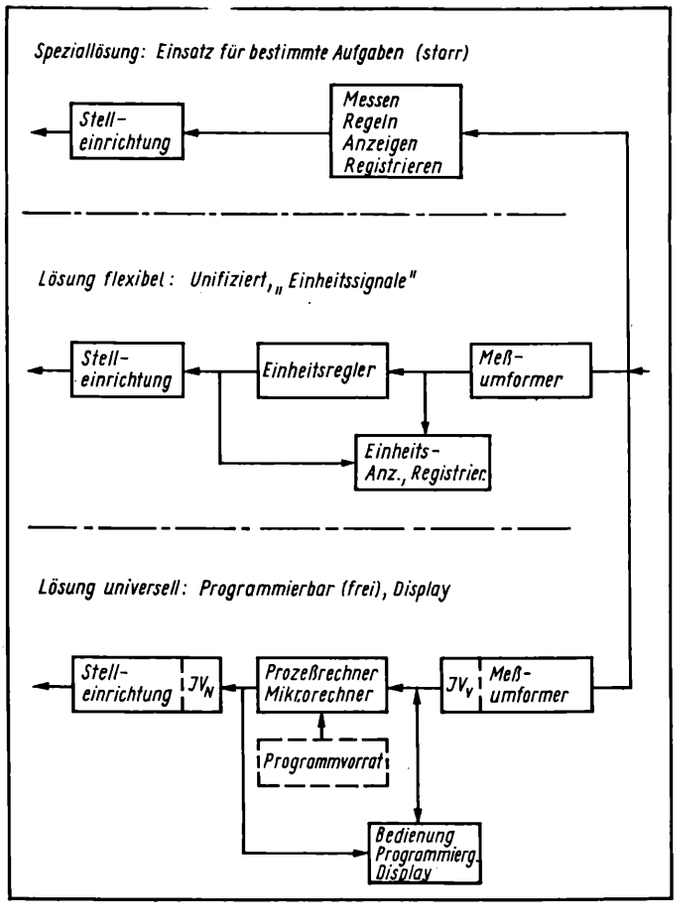


Bild 1. Entwicklung der Gerätetechnik starr – flexibel – universell
IV_V Informationsvorverarbeitung, IV_N Informationsnachverarbeitung

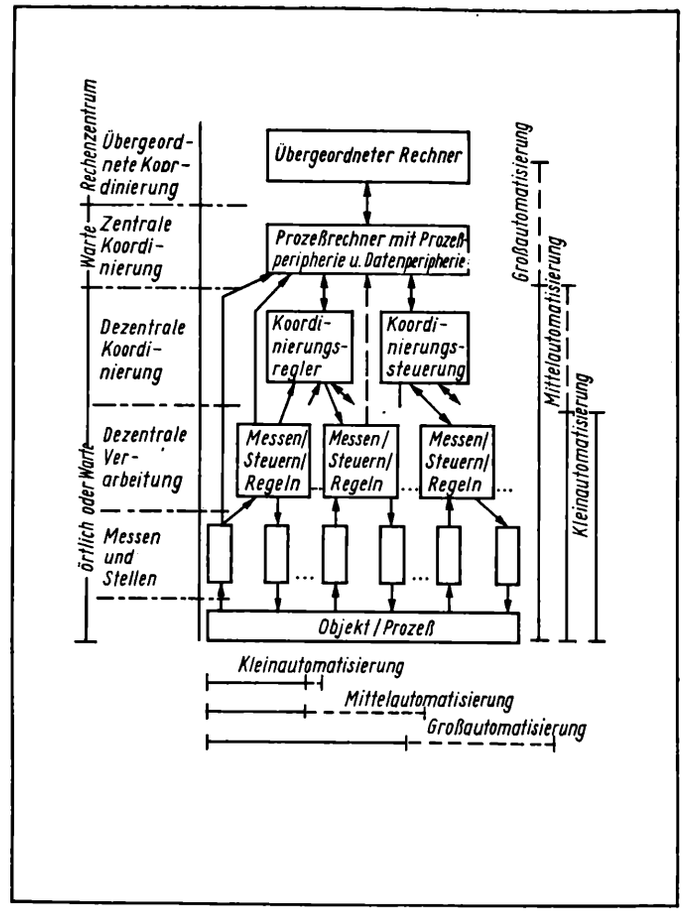


Bild 2. Hierarchisch strukturierte Automatisierungssysteme

Das noch vorhandene unterschiedliche Niveau bei der Automatisierung der — durch große Vielfalt und hohe Anforderungen gekennzeichneten — kontinuierlichen bzw. Fließprozessen der Stoff- und Energiewirtschaft im Vergleich zur Automatisierung der diskreten Prozesse der Fertigungstechnik erfordert gegenwärtig besondere Anstrengungen auf dem Gebiet der Fertigungsautomatisierung.
Die Automatisierung entwickelt sich international so, daß durch die enorme Vielfalt prozeßspezifischer Gesichtspunkte die Anteile an Eigenleistungen und Eigenlösungen durch den Anwender spürbar zunehmen. Darauf müssen sich die Anwender sowohl in der Forschung wie auch in der Produktion einstellen; es gibt keine realisierbaren Alternativen. Die über längere Zeiten an das Automatisierungsobjekt gebundene Weiterentwicklung von anwendungsspezifischen Automatisierungslösungen ist vorwiegend vom Anwender zu betreiben.

2. Niveaustufung und Strukturfragen

Im Mittelpunkt der Betrachtungen zum Stand und zur weiteren Entwicklung der Automatisierungstechnik stehen zwar nach wie vor jene Systeme, die sich auf Grund der Entwicklung der Mikrorechentechnik durch ihre hierarchische Struktur im Sinne der räumlichen und funktionellen Verteilung ihrer Komponenten auszeichnen [1] bis [4]. Aber damit wird nur eine Seite der Automatisierungstechnik berührt, der Aufgabenbereich der Automatisierung überstreicht eine sehr große Anwendungsvielfalt, sie reicht von der Steuerung der Innentemperatur eines Kühlschrankes bis zur automatischen Steuerung großer Kernkraftwerke. Das heißt, es sind Aufgaben von der Klein-, über die Mittel bis zur Großautomatisierung zu lösen.
Die dazu erforderlichen Automatisierungseinrichtungen umfassen deshalb nach Bild 1 die Möglichkeiten von der starren Einzwecklösung bis zu universell nutzbaren, freiprogrammierbaren Mitteln. Unabhängig von der Realisierungsart werden sich die skizzierten drei Grundformen nicht ablösen, sondern einander ergänzen: sie stellen eine wesentliche Basis für die in der Automatisierungstechnik notwendige Niveaustufung aller Komponenten der Automatisierung von der Hardware über die Software, die Theorie bis hin zur Wartung und Instandhaltung dar [9]. Aus struktureller Sicht lassen sich die Varianten nach Bild 1 etwa in das Konzept nach Bild 2 einordnen.

Die zu lösenden Aufgaben unterscheiden sich hinsichtlich des Niveaus durch eine Reihe typischer Merkmale, wie:

- Objektniveau (Bügeleisen bis Kernkraftwerk)
- Zielniveau (einzielig bis umfassend mehrzielig)
- Funktionsniveau (Zweipunktverhalten bis Adaption)
- Geräte- und Programmniveau (Zweipunktregler bis Hierarchiesystem bzw. Programmodul bis Spezialsoftware)
- Entwurfsniveau (Routineentwurf, rechnergestützt)
- Wartungs- und Service-Niveau (traditionell bis Eigendiagnose).

Ohne weitere Untersetzung läßt sich daraus ableiten, daß es notwendig ist, sehr unterschiedliche Leistungs- und Aufwandsforderungen zu erfüllen und sie verschiedenen Objektklassen und technologischen Linien anzupassen.
Dabei muß beachtet werden, daß zur Erarbeitung abgerundeter Automatisierungslösungen Beiträge aus unterschiedlichen Richtungen erforderlich sind, wie das im Bild 3 angedeutet ist. Daraus darf auch abgeleitet werden, daß die weitere Entwicklung der Automatisierungstechnik und auch der Trend davon beeinflußt werden, wie es gelingt, die im Bild 3 angeführten Komponenten weitgehend proportioniert zu entwickeln und anzuwenden. Die rasche Umsetzung der z. B. durch die neue Hardware möglichen Innovationen in der Automatisierungstechnik erfordert auch angepaßte Leistungen im Bereich der Theorie, der Softwaretechnologie, der automatisierungsgerechten Prozeßgestaltung usw.
Dem Anwender stehen damit zur Lösung seiner Aufgaben weitaus bessere Möglichkeiten zur Verfügung, die er zu nutzen gewillt ist, um entweder neue, z. B. bisher nicht lösbare Automatisierungsaufgaben aufzugreifen oder Vorläufersysteme abzulösen. Dies erfolgt meist mit solchen typischen Zielstellungen, wie

- Erhöhung der Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Betriebssicherheit der Gesamtanlage
- Verbesserung bzw. Einhaltung der Produktqualität
- Steigerung der Produktion bei gleichbleibendem oder sinkendem Hilfs- und Rohstoffeinsatz
- Steigerung der Produktion bei gleichbleibendem Umfang der Produktionsanlagen
- höhere Flexibilität der Automatisierungslösung

- Erfüllung spezieller Forderungen an die Kommunikation zwischen Mensch und Prozeß
- umweltfreundliche Fahrweise der Produktionsprozesse.

Bei allem Enthusiasmus für Innovationen und der Notwendigkeit ihrer Förderung muß jedoch beachtet werden, daß der z. Z. international übliche, enorme und rasche Generationswechsel [5] keine Garantie bietet, daß stets nur ausgereifte Systeme und Konzepte auf den Markt gelangen. Der Problemkreis Kostenrisiko — technische Reife — Wirtschaftlichkeit betrifft Hersteller und Nutzer mit allen Konsequenzen gleichermaßen. Innovationen und Trends sind deshalb sorgfältig auf ihren wirklichen Fortschrittsgehalt zu überprüfen, auch auf die Gefahr hin, als konservativ zu gelten [3].
Grundsätzlich darf hinsichtlich der Leistungsfähigkeit moderner Systeme jedoch festgestellt werden [4], daß

- der Einfluß der Mikroelektronik eine weitgehend freie Gestaltung von Automatisierungslösungen auf der Meßseite bezüglich der Automatisierungsfunktionen und der Bedien- und Beobachtungsfunktionen enorm fördert
- sich deutliche Anwendungsvorteile bei funktionellen und strukturellen Änderungen, die sich oft in Stunden erledigen lassen, und hinsichtlich der Zuverlässigkeit ergeben
- die Umsetzung von Automatisierungszielen nach wie vor stark von subjektiven Faktoren beeinflußt wird, was durch die bei modernen Systemen fehlende Schnittstellennormierung eine Verschärfung zur Folge hat, weil die Frage der Kompatibilität zu Nachfolgegenerationen und zu Konkurrenzerzeugnissen aus derzeitiger Sicht nur schwer lösbar ist.

Unterzieht man die derzeitigen modernen Automatisierungssysteme nach Bild 4b einer gründlichen Analyse, so lassen sich einige technisch-wirtschaftlich bedingte Unzulänglichkeiten ableiten, die sich wie folgt formulieren lassen [6]

- relative Unterbewertung kostengünstiger Lösungen für mittlere und kleine Automatisierungsaufgaben
- einseitige Orientierung auf Großobjekte
- komplizierte Zuverlässigkeitsstrukturen durch Mehrkanalkonzepte (Mehrfachnutzung der Mikrorechner)
- neben bitserieller Informationsübertragung im prozeßfernen Bereich durch Prozeßbus mit Linienstruktur existieren für den prozeßnahen Bereich die herkömmlichen Analogsignale mit Sternstruktur
- räumlich verteilte Mikrorechner erfordern meist den zusätzlichen Aufbau von Feldstationen mit zugehörigen Gebäuden.

Bild 4a stellt die Struktur bei Benutzung traditioneller Mittel oder/und zentralem Prozeßrechner dar, Bild 4b zeigt die Konzeption bei Nutzung verteilter Mikrorechner.
Zieht man aus den genannten Unzulänglichkeiten Konsequenzen (Bild 4b), so führt das zur Lösung nach Bild 4c, die dargestellte Struktur ist wie folgt charakterisierbar

- Der Informationsfluß kann auf kürzestem Wege von der Meß- zur Stelleinrichtung gelangen.
- Nur spezielle Informationen, die für Leit- und Koordinierungsaufgaben erforderlich sind, werden in die Warte geführt.
- In der Meßeinrichtung erfolgt bereits eine weitgehende Informationsverarbeitung einschließlich elementarer Prozeß- und Eigenüberwachung.
- In den Stelleinrichtungen sollten die Informationsverarbeitung zur Stabilisierung von Prozeßparametern sowie die Nachverarbeitung (Positionierung, Kennlinienkorrektur) und Eigenüberwachung möglich sein.
- Verarbeitungselektronik und Bedienperipherie für Leitfunktionen befinden sich in der zentralen Warte.

Dieser Schritt führt zum Einsatz „busfähiger" intelligenter Meß- und Stelleinrichtungen.
Die Entwicklung und der Einsatz intelligenter Meßeinrichtungen zeichnen sich bereits deutlich ab, der Weg zu intelligenten Stelleinrichtungen könnte vor allem auf dem Gebiete des Stellens von Stoffströmen den hier z. Z. vorhandenen Rückstand z. B. gegenüber der Informationsverarbeitung verringern.
Die Aufgaben intelligenter Meß- und Stelleinrichtungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:
Intelligente Meßeinrichtungen erfüllen z. B. Aufgaben, wie Meßbereichsumschaltung, Kennlinienkorrektur, Nullpunktkorrektur, Filterung und Eigenüberwachung.
Intelligente Stelleinrichtungen realisieren u. a. gleichzeitig Steuerungsfunktionen, Aufgaben der Positionierung, Kennlinienkorrektur, Eigenüberwachung und Datenprüfung.

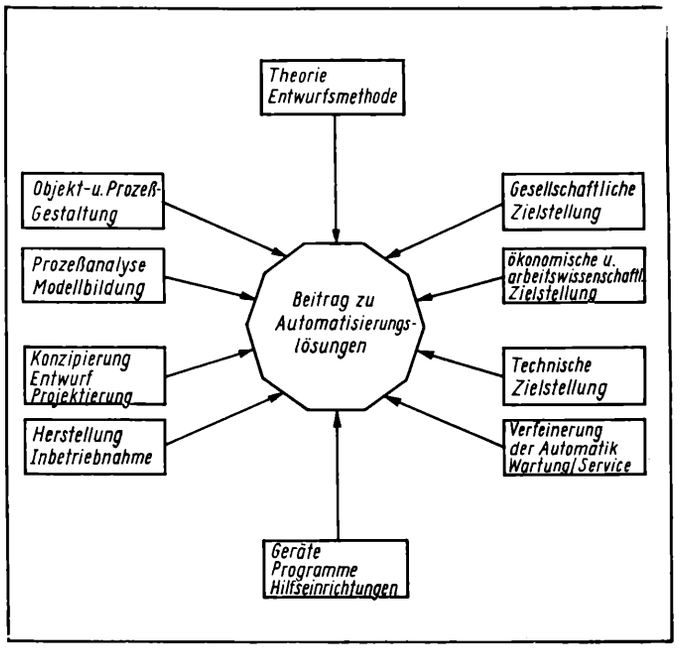
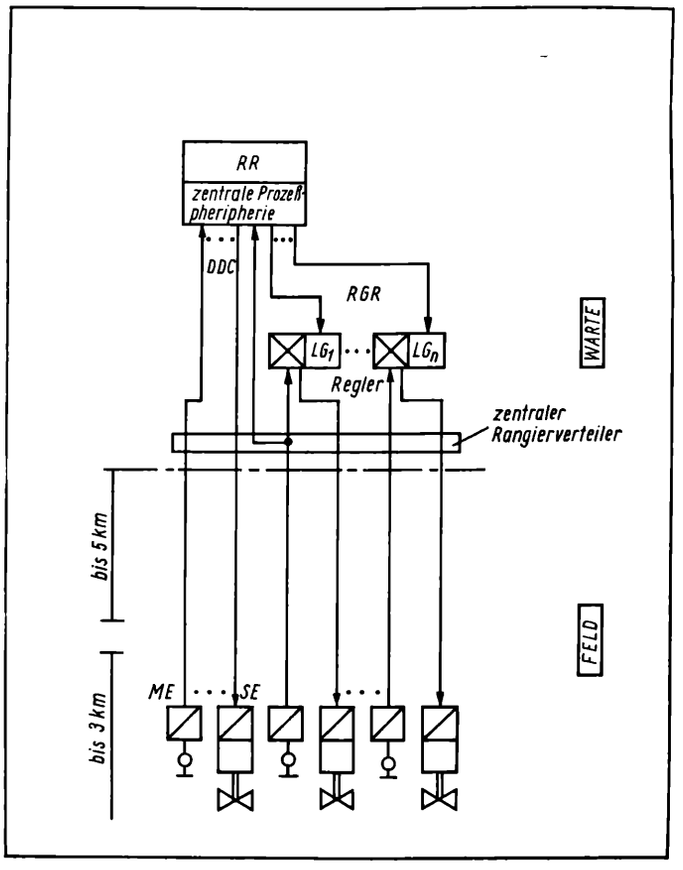


Bild 3. Beiträge zu Automatisierungslösungen

3. Einfluß der Dienstleistungen

Die sich bietenden breitgefächerten Möglichkeiten auf dem Bauelemente- und Gerätemarkt wirken sich natürlich auch so aus, daß die Entwickler, Konstrukteure, Einkäufer, Projektierer und Betreiber stets vor zunehmend schwierigen Entscheidungen stehen, wenn eine möglichst optimale Lösung gefunden werden soll. Die große Vielfalt hat nicht zuletzt zur Folge, daß die Dienstleistungskosten die durch Hardware erkauften Vorteile wieder aufheben. Das sei anhand der zunehmenden Softwareaufwendungen verdeutlicht. So stiegen z. B. von 1977 bis 1982 die Softwarekosten in der BRD von 50,— DM/h auf 81,5 DM/h. Beachtet man, daß sich bei der

Bild 4. Grundstrukturen von Automatisierungssystemen
a) konventionell;



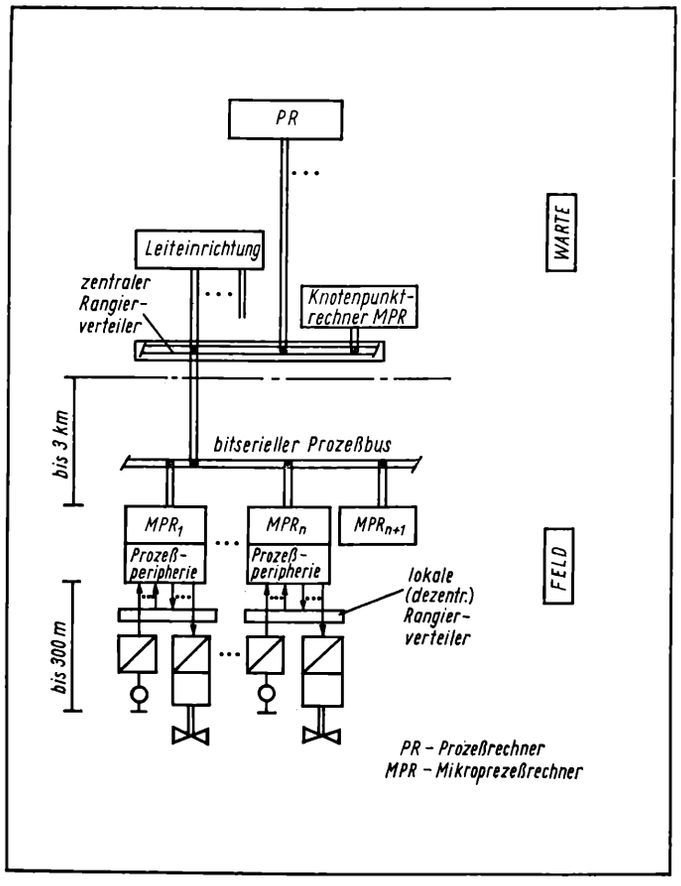


Bild 4. b) mit Mikroprozeßrechnern

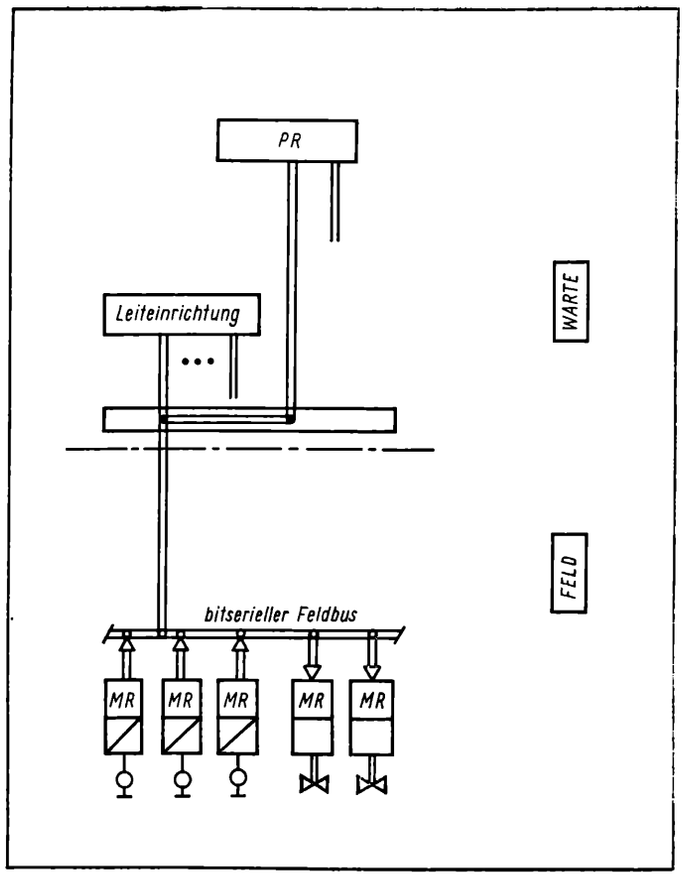


Bild 4. c) mit intelligenten Meß- und Stelleinrichtungen (Einchipmikrorechner *EMR*)

PR Prozeßrechner; *DDC* direkte, digitale Regelung; *LG* Leitgerät; *PGR* rechnergeführte Regelung; *ME* Meßeinrichtung; *SE* Stelleinrichtung; *MR* Mikrorechner (Einchiprechner); *PR* Prozeßrechner

Automatisierung kontinuierlicher Prozesse die Kostenverhältnisse bereits in Bereichen bewegen, bei denen die Hardware 20%, die Software 50% und die Montage usw. 30% der Kosten ausmachen, so liegen die notwendigen Konsequenzen auf der Hand.
Die Automatisierung (Rationalisierung) muß deshalb auch auf die Phase des Entwurfs, der Projektierung und der Erstellung der Projektunterlagen übertragen werden. Das führt zur Anwendung des CAD (Computer Aided Design) auch bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben. Der Umstieg ist mit nicht geringen Kosten verbunden, läßt aber folgende Fortschritte erwarten:

- Verkürzung von Entwicklungszeiten und höhere Flexibilität
- Qualitätsverbesserung
- schnellere Angebotserstellung
- Ausnutzung alternativer Lösungen/Varianten
- kürzere Durchlaufzeiten usw.

Bereits gesammelte Erfahrungen auf anderen Gebieten zeigen deutlich, daß Produktivitätsfaktoren in der Größenordnung von 3 bis 5 [7] zu erwarten sind. Auch hier bieten sich sicher keine Alternativen, als diese Entwicklung mit voranzutreiben, will man sich nicht der Gefahr aussetzen, allein im Routineentwurf, d.h. in der Nutzung von Teillösungen, zu verharren bzw. nicht mehr konkurrenzfähig zu sein.

4. Zu einigen Detailfragen

Der Trend und die Auswirkungen der Entwicklung von Sensoren und Mikroprozessoren auf die Automatisierungstechnik läßt sich in Anlehnung an [3] zeigen, siehe Tafel 1 und Tafel 2.
Die oft und breit diskutierte Frage nach der Entwicklung kundenspezifischer Schaltkreise läßt sich nur schwer voraussagen, weil neben der Stückzahl auch die Sicherheit des Entwurfs, die Änderungswahrscheinlichkeit, die Produktlebensdauer und das Problem des Zweitlieferanten von Bedeutung sind.
Die Informationsübertragung wird in Kürze in umfassender Form über serielle Busse erfolgen. Sie werden, wie bereits gezeigt wurde, schrittweise die Gesamthierarchie vom Anschluß an das öffentliche Netz bis hin zu den Meß- und Stelleinrichtungen (Bild 4) überstreichen. Das hat insgesamt Konsequenzen für die Auslegung der Hardwarekomponenten hinsichtlich der Schnittstellengestaltung.

Fortsetzung auf Seite 137

Tafel 1. Trend der Entwicklung bei Sensoren und Pheripheriekopplern [3]

Bausteine	Trend	Auswirkungen
	Sensoren	
• Mikrotechnik	Massenherstellung	erweiterte Anwendung
• Faseroptik	Marktexemplare	Ex-Sicherheit
• Bildsensoren	Vereinfachung	Erkennungsverfahren
• „Gas-Sensoren"	Betriebstüchtigkeit (Ziel)	Anwendungserweiterung
	Peripheriekoppler	
• Analog-Digital/ Digital-Analog-Konverter	schneller, billiger, Massenherstellung	digitale MSR-Geräte
• Busanschaltung	Marktexemplare	de-facto-Normen
• Lichtwellenleiter-koppler	Integration Optik/Elektronik	Lichtwellenleiterübertragung im Prozeß
• Graphik Farbgraphik	Spezialbausteine	Leistungssteigerung/ Sichtgeräte
• Sprachausgabe	Angebot wächst	akustische Meldung

Tafel 2. Trend der Entwicklung bei Mikroprozessoren, Auswirkung auf Automatisierungstechnik [3]

Merkmale	Trend	Auswirkungen
Allgemeine Prozessoren		
• Leistung • Architektur • Zusatzfunktion • Speicherkapazität je Chip	32-bit-Version sprachoptimierte Typen anwendungsspezifische Typen	Leistungssteigerung der Prozeßrechner Automat.-Systeme MSR-Geräte
Spezialprozessoren		
• Arithmetik • Signalverarbeit. • Bildverarbeit.	schneller, mehr Funktionen, billiger, schneller	Leistungssteigerung der Rechenbausteine zur: Signalanalyse Mustererkennung Überwachung Sicherung Diagnose

Anwendung der Mikroelektronik in der Elektrotechnik[1)]

R. Schönfeld, KDT; H. Güldner, KDT; E. Habiger, KDT; E. Paulig, KDT; E. Seefried, KDT; G. Winkler, KDT; Dresden

Die rasche Entwicklung auf dem Gebiete der hochintegrierten mikroelektronischen Schaltkreise beeinflußt heute wesentlich auch die energetische Elektrotechnik. Stand und erkennbare Entwicklungstendenzen auf dem Gebiete der Elektroenergieerzeugung, Übertragung und Verteilung, der Leistungselektronik und Antriebstechnik, der Steuerung von Be- und Verarbeitungsprozessen sowie bei der Automatisierung von Prüfprozessen werden untersucht.

1. Entwicklungstendenzen der energieorientierten Elektrotechnik unter dem Einfluß der Mikroelektronik

Ausgelöst durch den raschen Fortschritt bei der Entwicklung mikroelektronischer Schaltkreise [1] führen sich in der energieorientierten Elektrotechnik und der mit dem Energiefluß unmittelbar verbundenen Automatisierungstechnik tendenziell neue bzw. veränderte Wirkprinzipien ein, die die Entwicklung des Fachgebietes wesentlich beeinflussen. Generell sind herauszuarbeiten:

- Übergang von hardwareminimierten, festverdrahteten Schaltungen zu programmierbaren Strukturen auf der Basis hochintegrierter Speicher- und Prozessorbausteine. Dadurch wird es möglich, ein breites Gebiet von Anwendungen mit vereinheitlichter Hardware zu überdecken. Die Anpassung an konkrete Einsatzbedingungen erfolgt durch Programmierung.
- Übergang zu digitaler Signalverarbeitung oder gemischt analog-digitaler Signalverarbeitung anstelle bisher üblicher analoger Technik. Dadurch ergeben sich eine hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, die Möglichkeit der Programmspeicherung und Programmsteuerung in umfassender Weise sowie die Möglichkeit der Speicherung, Prüfung und Protokollierung aktueller Systemzustände.
- Herausbildung dezentraler Steuerungsstrukturen, in denen weitgehend autonome Funktionseinheiten zusammenwirken. Diese Entwicklung ermöglicht flexible, übersichtliche Automatisierungslösungen und im Zusammenhang damit die Vereinfachung von Einrichtungen der Energieübertragung, Verteilung, Steuerung und Wandlung.
- Der Übergang von der mechanischen zur elektronischen Kommutierung bei Energiewandlern und -stellern, begünstigt durch die Entwicklung integrierter Leistungshalbleiter, sowie verstärkte Anwendung der Energie-Pulstechnik.
- Ablösung bzw. Vereinfachung mechanischer Übertragungseinrichtungen und Ersatz durch dezentrale, an den geforderten Bewegungsablauf angepaßte Antriebe, deren Gleichlaufbedingungen durch digitale Steuerungen gewährleistet werden.

Die Entwicklung ist verbunden mit Effekten der Materialeinsparung bzw. Materialsubstitution, der Volumenreduzierung, der Vereinfachung des Energieflusses, höheren energetischen Wirkungsgrades, höherer Zuverlässigkeit und erhöhter Anpaßbarkeit an veränderliche technologische Bedingungen. Parallel dazu vollziehen sich unter dem Einfluß der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik wesentliche Entwicklungen auf dem Gebiet der Fertigungsvorbereitung, des Fertigungs- und Prüfprozesses. Tendenziell sind hervorzuheben:

- Nutzung von Kleinrechnern (Bürocomputer, persönliche Rechner) am Arbeitsplatz auf der Basis einer Modularisierung des Problems, einer problemorientierten Beschreibung und einer einfachen Programmiersprache (BASIC, PASCAL), im Sinne eines „rechnergestützten Entwurfs"
- Nutzung von Großrechnern über Ein- und Ausgabeterminals in der Nähe des Arbeitsplatzes auf der Basis hochentwickelter Spezialsprachen, die durch eine leistungsfähige Rechnerhardware effektiv möglich werden.
- Aufbau einer bedienerarmen Fertigung auf der Basis eines Konzeptes der dezentralen flexiblen Automatisierung
- Aufbau rechnergestützter Prüfplätze, vorzugsweise im Rahmen einer bedienerarmen Fertigung und für komplizierte, arbeitszeitintensive Prüfungen.

In den folgenden Abschnitten werden, bezogen auf die wichtigsten Teilgebiete der Elektrotechnik, Stand und Entwicklungstendenzen unter dem Einfluß der Mikroelektronik dargestellt.

2. Anwendung der Mikroelektronik zur Steuerung der Prozesse der Elektroenergieerzeugung, -übertragung und -verteilung

Die unter dem Begriff Sekundärtechnik in der Elektroenergietechnik zusammengefaßten Gerätesysteme für Messung, Steuerung, Schutz

Prof. Dr.-Ing. habil. *Rolf Schönfeld*; Dr. sc. techn. *Henry Güldner*; Prof. Dr.-Ing. habil. *Ernst Habiger*; Prof. Dr. sc. techn. *Eberhard Paulig*; Dr. sc. techn. *Eberhard Seefried*; Dr. sc. techn. *Gert Winkler*; Technische Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik

[1)] Übersichtsvortrag zur 10. Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion Elektrotechnik

Fortsetzung von Seite 136

Im unmittelbaren Zusammenhang damit stehen zunehmend auch die Fragen der Betriebsbereitschaft der Systeme. Beschäftigte man sich früher mit den Aspekten der reinen Reserveregler im Sinne des Back up als Notinstallationen, so ging man bald zu den Problemen der Redundanz über und sieht darin im weitesten Sinne zusätzliche technische Mittel, die sowohl im Ausstattungsgrad als auch in der Wirkungsweise durch völlig unterschiedliche Lösungen gekennzeichnet sind. Heute spricht man dagegen zunehmend von fehlertoleranten Systemen [8]; hierunter versteht man u.a. Maßnahmen durch zusätzliche Hardware (Hardware-Redundanz), zusätzliche Programme (Software-Redundanz) oder durch zusätzliche Operationen (Zeit-Redundanz). Durch diese Mittel (sie befinden sich stark im Aufschwung) besteht die Möglichkeit, umfangreiche Maßnahmen zur Erhöhung der Betriebsbereitschaft der Automatisierungssysteme im Rahmen der Projektierung zu berücksichtigen. Zuverlässigkeit wird projektierbar.

Die weitere Entwicklung der Automatisierungstechnik resultiert vor allem aus den Impulsen der Mikro- und Optoelektronik, d.h., sie ist weitgehend eine Folge der Änderungen der Automatisierungs-Hardware. Sich hier vollziehende Änderungen können mit weitreichenden Konsequenzen verbunden sein, wie z.B.

- Verschiebungen der erforderlichen theoretischen Basis (Analog-/Digitaltechnik)
- Veränderung der industriellen Struktur (Bauelemente- und Geräteindustrie verschmelzen)
- Veränderungen in der Projektierung (Zunahme der Softwareanteile)
- Veränderung der Mensch-Prozeß-Kommunikation (von der passiven Bedienung zum aktiven Bildschirmdialog)
- Veränderungen bei Montage, Inbetriebnahme und Wartung (zunehmend rechnergestützt)
- Abwertung bisheriger Erfahrungen (durch raschen Generationswechsel zusätzlich stimuliert).

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Zur funktionellen und strukturellen Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik. messen · steuern · regeln, Berlin 24 (1981) 4, S. 183 – 188
[2] *Urabach, W.:* Einflüsse der Mikroelektronik auf die Meß- und Automatisierungstechnik. Regelungstechnische Praxis 25 (1983) 10, S. 397 – 399
[3] *Böhme, W.:* Entwicklungstrends der Automatisierungstechnik. Regelungstechnische Praxis 25 (1983) 10, S. 400 – 407
[4] *Töpfer, H.; Willem, H.; Fuchs, H.:* Zum Stand der Anwendungen moderner Automatisierungsmittel. messen · steuern · regeln, Berlin 27 (1984) 1, S. 2 – 7
[5] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Zum Generationswechsel bei Automatisierungssystemen. Regelungstechnische Praxis 24 (1982) 10, S. 336 – 341
[6] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Einsatz intelligenter Meß- und Stelleinrichtungen in der Automatisierungstechnik. Fachberichte Messen · Steuern · Regeln (10). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag; S. 418 – 428
[7] *Prozel, D.:* Produktivität durch Informationsverarbeitung in technischen Unternehmensbereichen. CAE-Journal 2/83, S. 16 – 19
[8] *Weiß, R.:* Fehlertolerante Rechnersysteme · Regelungstechnische Praxis 25 (1983) 10, S. 408 – 416
[9] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierungstechnik, Gegenwart und Zukunft · Reihe Automatisierungstechnik. Bd. 200. Berlin: VEB Verlag Technik 1982

EA 5409

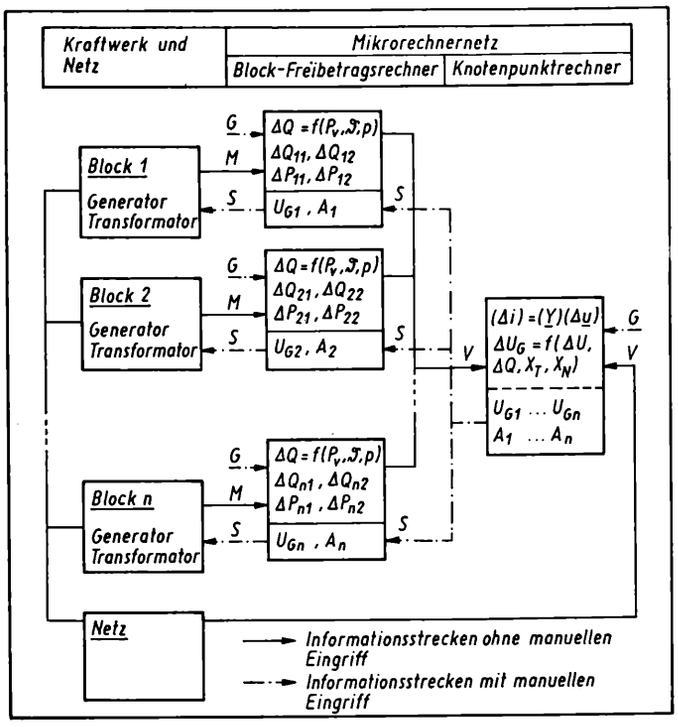


Bild 1. Spannungs-Blindleistungsregelung in einem Kraftwerk mit Mikrorechnern
Informationsstrecken ohne manuellen Eingriff
Informationsstrecken mit manuellem Eingriff
G Grenzwerte; *M* Meßwerte; *S* Sollwerte; *V* Verdichtete Werte

und Regelung werden weitgehend durch getrennte Aufgabenstellungen charakterisiert. Der steigende Bedarf an Elektroenergie, die stärkere Auslastung der Elektroenergieerzeugungs-, -übertragungs- und -verteilungsanlagen und die höheren Anforderungen an die Versorgungszuverlässigkeit haben eine umfangreichere Sekundärtechnik zur Folge. Das Betriebspersonal in den Kraftwerken, Umspannwerken und Netzleitstellen hat einen damit verbundenen wachsenden Informationsumfang zu verarbeiten und aus ihm Handlungen abzuleiten. Durch die Komplexität der Prozeßführung in den Elektroenergiesystemen und dem Erfordernis der schnellen Auslösung von Handlungen, vor allem bei Prozeßstörungen, ist eine Verflechtung der Aufgabenstellungen der Sekundärtechnik gegeben. In den nationalen und internationalen Elektroenergiesystemen hat sich deshalb ein hierarchisch aufgebautes Rechnersystem für die Messung und Steuerung durchgesetzt, in das die Aufgaben des Schutzes und der Regelung zunehmend integriert werden. Der Einsatz der Mikroelektronik für die Prozeßdatenerfassung, -übertragung und -verarbeitung ermöglicht den Aufbau von Mikrorechnersystemen in der Energiewirtschaft für die Elektroenergieerzeugung, -übertragung und -verteilung.

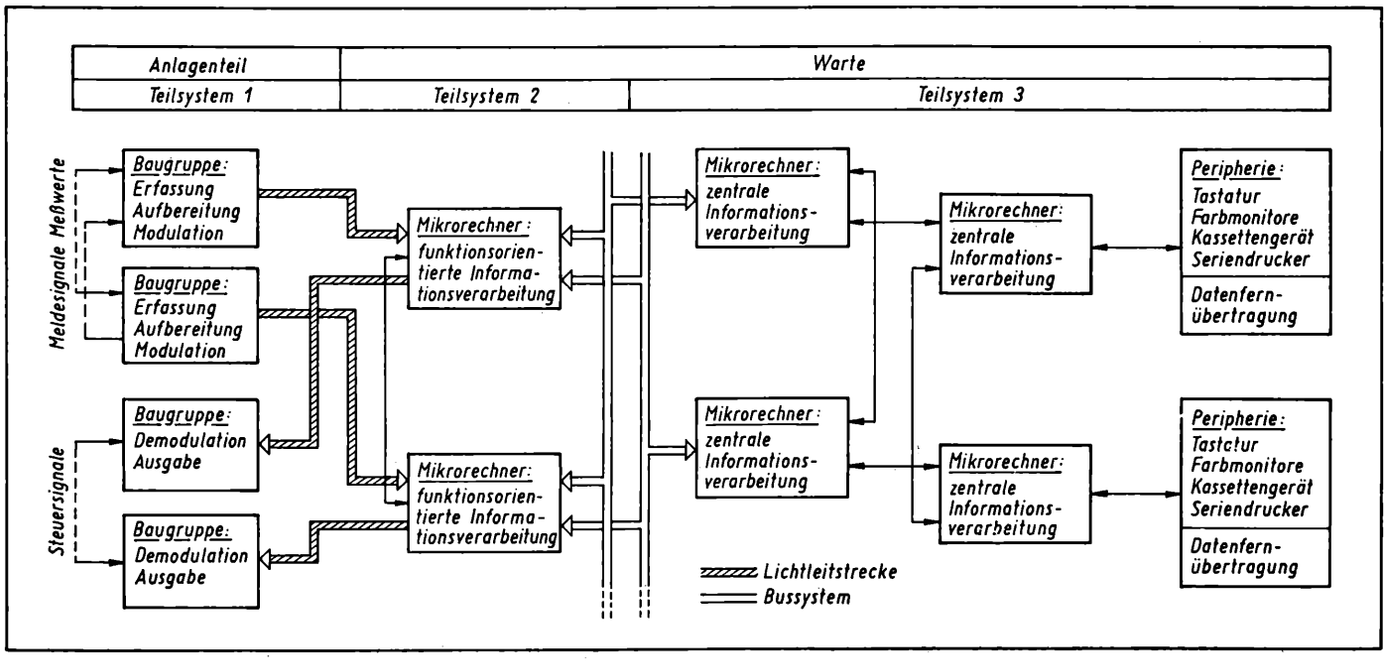
Die wirtschaftliche Prozeßführung der Elektroenergiesysteme erfordert eine Optimierung der Spannungs-Blindleistungs-Verhältnisse. Der Aufbau von Mikrorechnernetzen in den Kraftwerken, die auf der Grundlage des bereits eingeführten Freibetragsrechners arbeiten, trägt zur Lösung dieser Zielstellung bei [2]. Dem Block-Freibetragsrechner werden die Prozeßdaten Wirk-, Blindleistung, Spannung und Temperatur des Blocks zugeführt, veränderbare und feste Grenzwerte eingegeben. Der Mikrorechner berechnet die freien Regelreserven der Wirk- und Blindleistung, die angezeigt und vom Knotenpunktrechner zyklisch seriell abgefragt werden (Bild 1). Der Knotenpunktrechner ermittelt die Zweigströme, die über die Abweichung der Knotenpunktspannung neben der freien Blindleistung und der Ersatzreaktanz des Netzes zur Berechnung der Generatorspannungsänderung erforderlich sind. Unter Einbeziehung der Wirkleistung wird eine der freien Blindleistung zugeordnete und für die Generatoren günstige Blindleistungsaufteilung erreicht. Die berechneten Stellwerte von Generatorspannung und Transformatorstufung der Blöcke werden an die Block-Freibetragsrechner gemeldet und vom Betriebspersonal realisiert [3]. Im Kraftwerk Boxberg wird ein derartiges Mikrorechnernetz betrieben. Die Installation weiterer Mikrorechnernetze in den Großkraftwerken ist aus der Konzeption des Spannungs-Blindleistungs-Regimes des Übertragungsnetzes der DDR abzuleiten.

Die Konzentration großer Leistungen in den Kraftwerken zwingt im Störungsfall zu einer Sammelschienentrennung in der zugehörigen Schaltanlage. Die Generatoren und Block-Freibetragsrechner müssen dann 2 Knotenpunkten zugeordnet werden. Die Zuordnung, die bisher manuell am Rechner vorgenommen werden mußte, erfolgt auf der Grundlage der Prozeßdaten der Schaltzustände der 95 Leistungsschalter und Trenner mit dem Mikrorechner. Die Schaltzustandsinformationen werden aus der vorhandenen Sekundärtechnik entnommen und in einem Übersichtsschaltbild auf einem Farbmonitor dargestellt. Veränderte Schaltzustände werden durch blinkende Symbole, die durch das Betriebspersonal quittiert werden müssen, auf dem Farbmonitor angezeigt. Zur Zuordnung wird ein zeitoptimaler Algorithmus, der von den konkreten möglichen Schaltzuständen der Schaltanlage und nicht von den aufwendigen Suchverfahren ausgeht, angewendet [4].

Zur Unterstützung der Prozeßführung, vorwiegend in Umspannwerken des Übertragungsnetzes, werden Mikrorechnersysteme eingesetzt. Das in der DDR entwickelte Schaltanlageninformationssystem Hochspannung besteht aus 3 Teilsystemen (Bild 2).

Das Teilsystem *1* ist in dem jeweiligen Anlagenteil (z. B. Abgangs- oder Kuppelfeld) angeordnet. Es umfaßt die Baugruppen der Prozeßdatenerfassung, -aufbereitung und Modulation für die Messung und Meldung. Weitere Baugruppen dienen der Demodulation und

Bild 2. Mikrorechnersystem des Schaltanlageninformationssystems Hochspannung



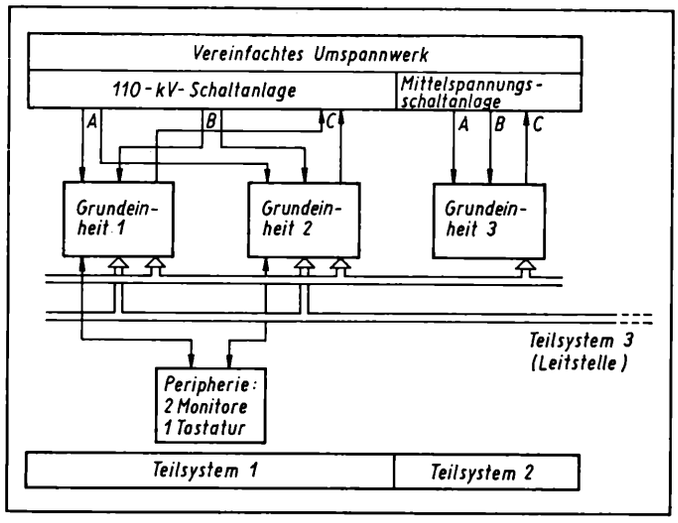


Bild 3. Überwachung und Steuerung eines VUW mit Mikrorechnern

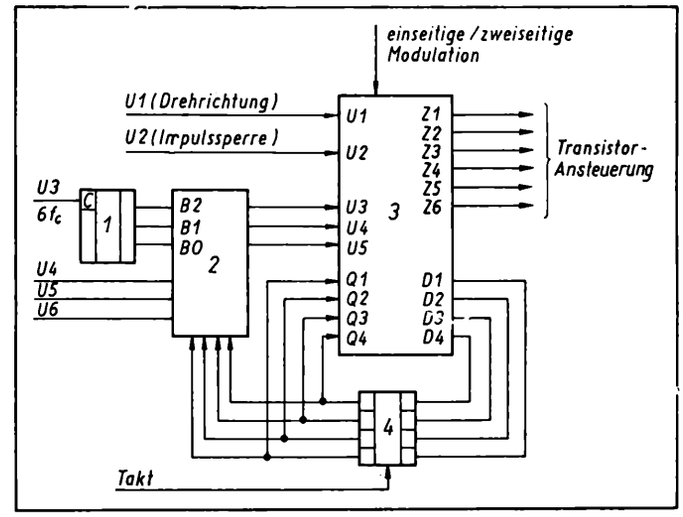


Bild 5. Ansteuerautomat für einen selbstgelöschten Stromrichter (vereinfacht)
1 Adreßzähler; *2* 4-bit-Arithmetik-Logik-Einheit; *3* PROM als programmierbare Logik; *4* Zustandsspeicher

Bild 4. Ausdruck des Prinzipschaltbildes und der Mittelspannungsabgänge

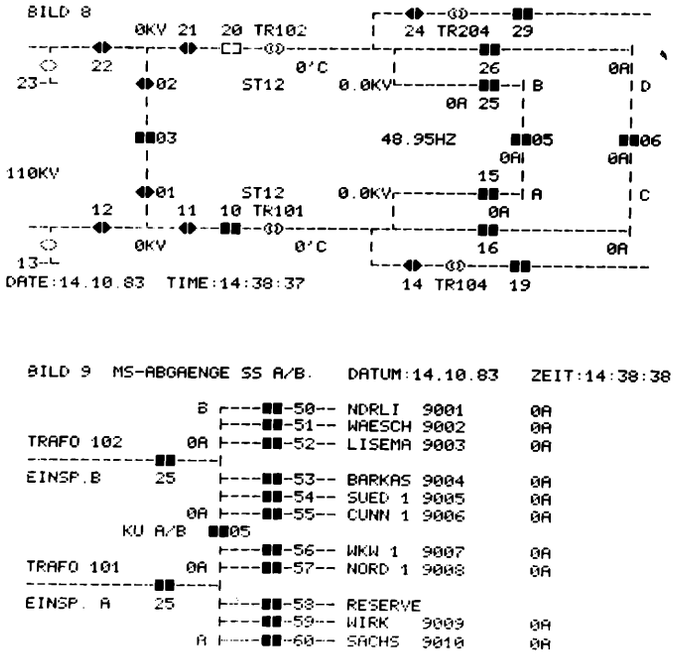
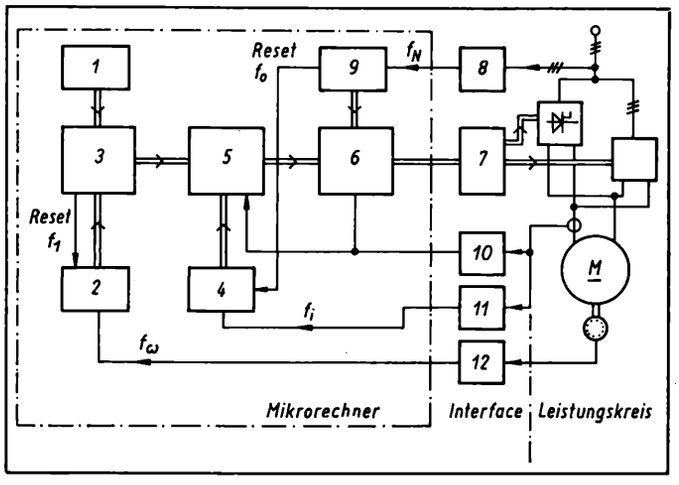


Bild 6. Blockdiagramm eines Gleichstromantriebes mit Mikrorechner-Regler
1 Führungsgrößenvorgabe; *2* Drehzahlzähler; *3* Drehzahlregler; *4* Stromzähler; *5* Stromregler; *6* Ansteuerautomat; *7* Impulsverstärkung; *8* Netzkomparatoren; *9* Phasenregelkreis zur Netzsynchronisation; *10* Stromkomparatoren; *11* Spannungs-Frequenz-Wandler Strom; *12* Auswerteelektronik Drehzahl



Ausgabe der Steuersignale für die Schaltgeräte. Die Signalübertragung zwischen diesen Baugruppen und dem Mikrorechner wird mit Lichtleitkabel durchgeführt. Die Baugruppen zum Empfang, zur Sendung und Wandlung der Signale sowie der funktionsorientierte Mikrorechner sind dem Teilsystem *2*, das sich in der Warte befindet, zugeordnet. Der Mikrorechner berechnet die Effektivwerte von Spannung und Strom, die Leistung und Arbeit, verarbeitet die Meldung und nimmt Schutzfunktionen wahr. Ein schnelles Bussystem koppelt das Teilsystem *2* mit dem Teilsystem *3*, das in der Warte für die zentrale Prozeßdatenverarbeitung vorgesehen ist.

Diese beinhaltet die Aufgaben der Koordinierung der Prozesse, die mehrere Anlagenteile (Schaltfehlerschutz) umfassen, der Organisation der Prozeßdatenaufzeichnung und -optimierung sowie der Kommunikation mit dem Betriebspersonal. Abhängig von der Größe und Bedeutung des Umspannwerkes werden 2 bis 5 Farbmonitore vorgesehen, auf denen das Gesamtschaltbild, das Schaltbild des anzuwählenden Anlagenteils einschließlich der Schaltzustände und Meßwerte, die Fehler- und Störungsmeldung sowie die Dialogführung bei Schalthandlungen dargestellt werden. Innerhalb einer Grundschwingung wird jeder Meßwert 16mal und jede Meldung 2mal aktualisiert. In jedem Anlagenteil können maximal 512 Meldungen erfaßt werden. Eine hohe Zuverlässigkeit wird durch Selbstüberwachung und redundanten Aufbau erreicht [5].

Vom Institut für Energieversorgung ist für ein vereinfachtes Umspannwerk (VUW) ein mikrorechnergestütztes Überwachungs- und Steuerungssystem entwickelt worden. Es besteht aus 2 Teilsystemen mit insgesamt 3 Mikrorechnergrundeinheiten (Bild 3). Die Baugruppen des Teilsystems *2* befinden sich in der Nähe der Mittelspannungsschaltanlage. Sie dienen der Prozeßkopplung und teilweisen Prozeßdatenverarbeitung. Mit den Mikrorechnern werden die Funktionen Messung der Effektivwerte von Spannung und Strom, Wirk-, Blindleistung, Leistungsfaktor, Frequenz, Temperatur, Meldung und Steuerung der Mittelspannungsschaltanlage und automatische Regelung der Erdschlußdrosseln realisiert. Die Baugruppen des Teilsystems *1* sind in der Warte angeordnet. Neben den Bausteinen der Prozeßkopplung zur 110-kV-Anlage enthält es eine redundant aufgebaute Grundeinheit zur zentralen Prozeßdatenverarbeitung, der Organisation der Prozeßdatenaufzeichnung und -speicherung sowie der Kommunikation mit dem Betriebspersonal [6]. Es hat die Funktionen Darstellung der Schaltzustände, Meßwerte und Transformatorstufungen auf dem Monitor, Steuerung unter Verwendung der standardisierten Kommandosprache und Symbolik, Teilautomatik zur Transformator- und Eigenbedarfsumschaltung und Spannungsband- und Selbstüberwachung wahrzunehmen. Der Ersteinsatz ist im VUW Frankenberg vorgesehen.

Bei Fernüberwachung und -steuerung ist in dem entsprechenden Leitumspannwerk oder der Netzleitstelle ein weiteres Teilsystem *3* mit den in diesen Leiteinrichtungen notwendigen Überwachungs- und Steueraufgaben einzusetzen. Mit einer zusätzlichen Datenaufzeichnungstechnik können Netz- und Anlageninformationen in der Leiteinrichtung gespeichert werden (Bild 4). In den 110-kV-Bereichslastverteilungen (BLV) der DDR wird eine Rechnerstützung der Prozeßführung vorgenommen. Wesentliche Merkmale sind die Kopplungsbeziehungen der eingesetzten Kleinrechner-, Mikrorechner- und Bürocomputersysteme über Datenfernübertragung mit dem übergeordneten Steuerorgan und einem zentralen Großrechner,

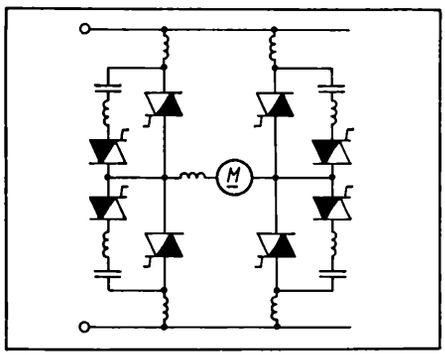


Bild 7. Vierquadrantensteller (Pulswechselrichter) mit rückwärtsleitenden Thyristoren

für den in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energetik das Datenbanksystem BLV entwickelt wurde. Die erarbeitete Lösung ist in der BLV Dresden auf Basis des Kleinrechnersystems KRS4201 erfolgreich in Betrieb und wird gegenwärtig im Auftrag der Staatlichen Hauptlastverteilung unter Verwendung eines Mehrmikrorechnersystems mit Farbmonitoren als Typlösung weiterentwickelt.

3. Anwendung der Mikroelektronik in der Stromrichtertechnik und bei elektrischen Antrieben [7] [8]

Die Entwicklung der Stromrichtertechnik ist mit der Entwicklung der Mikroelektronik in vielfältiger Weise sehr eng verbunden. Die diskontinuierliche Arbeitsweise der Stromrichter entspricht prinzipiell der diskontinuierlichen Arbeitsweise sequentieller Automaten. Dementsprechend ist es möglich, die Aufgabe der Erzeugung von Zündsignalen für netzgelöschte und selbstgelöschte Stromrichter mit Automatenstrukturen, d.h. mit Festwertspeichern und Prozessorschaltkreisen bzw. mit Einchiprechnern, zu lösen. Die höhere Zündwinkelgenauigkeit, die Freiheit von Drifterscheinungen und Justierarbeiten charakterisieren die Vorteile dieses Prinzips gegenüber klassischen analogen Lösungen und führen zur praktischen Einführung, beginnend bei Stromrichtern für höhere Anforderungen (Bild 5). Für selbstgelöschte Stromrichter ergibt sich die Möglichkeit, mit einer Bitmustersteuerung ein spezielles Pulsregime zu realisieren und dadurch den Stromrichter ans Netz bzw. an den Motor so anzupassen, daß die Oberwellenbelastung minimiert wird [9] [10] [11]. Die Vorteile selbstgelöschter Schaltungen kommen erst dadurch richtig zur Wirkung. Das Prinzip der Rechnersteuerung gestattet ferner die Realisierung einer diskontinuierlichen Stromregelung, die mit der Ansteuerimpulserzeugung eine funktionelle Einheit bildet. Mit Hilfe adaptiver Strukturen können nichtlineare Effekte kompensiert werden, so daß das System „stromgeregelter Stromrichter" insgesamt optimale stationäre und dynamische Eigenschaften besitzt, die besser sind als die vergleichbarer analoger Systeme (Bild 6) [12]. Die Anwendung von Automatisierungsstrukturen auf der Basis von Mikrorechnern wird letztlich dazu führen, daß die technische Qualität leistungselektronischer Schaltungen deutlicher zur Wirkung kommt.

Auch aus der Sicht der Technologie ihrer Herstellung besteht eine enge Wechselwirkung zwischen mikroelektronischen und leistungselektronischen Bauelementen. Die in den technologischen Prozessen erzielten Fortschritte ermöglichten eine Weiterentwicklung der Thyristoren und Transistoren

- zu höheren Strömen, Spannungen, Schaltfrequenzen
- zu höheren Sperrschichttemperaturen
- zu potentialfreien Modulen
- zu integrierten leistungselektronischen Strukturen, wie rückwärtsleitenden Thyristoren, abschaltbaren Thyristoren, Darlington-Transistoren [13] [14],

und wird weiterführen zu leistungselektronischen Bauelementen mit einintegrierter Potentialtrennung und Signalverstärkung, die unmittelbar vom Rechner angesteuert werden können. Die dadurch erzielbaren Schaltungsvereinfachungen führen zu einer erheblichen Volumenreduktion. Insbesondere bei Pulsstellern und Pulswechselrichtern sind die Vorteile deutlich, so daß eine breite Anwendung dieser Prinzipien, beispielsweise zur energieoptimalen Steuerung elektrischer Triebfahrzeuge, aber auch für ortsfeste Antriebe zu erwarten ist (Bild 7).

Die Entwicklung schneller und verlustarmer, weitgehend integrierter elektronischer Schalter auf Basis von Transistoren im Bereich kleiner Leistungen bzw. rückwärtsleitender oder abschaltbarer Thyristoren im Bereich großer Leistungen führt in der Tendenz weiter zur Ablösung mechanischer Kommutatoren durch elektronische. Während in den 60er Jahren zunächst rotierende Umformer wie Leonard-Umformer oder Frequenzumformer durch leistungselektronische Einrichtungen abgelöst wurden, ist es nun prinzipiell möglich, Motoren mit mechanischem Kommutator durch Motoren mit elektronischem Kommutator zu ersetzen. Unter dem Einfluß der Entwicklung hochwertiger Magnetwerkstoffe verdienen dabei aus Gründen der Materialsubstitution und aus Gründen der Verlustenergieminimierung vor allem solche Motorprinzipien Aufmerksamkeit, bei denen das Hauptfeld von Permanentmagneten aufgebaut wird. Das Steuern des elektronischen Kommutators (Wechselrichters) in Abhängigkeit von der Motorflußverkettung erfolgt nach dem Prinzip des sequentiellen Automaten, d.h. ist auf der Basis eines Mikrorechners heute mit geringem Aufwand realisierbar. Dabei erfolgt der Einsatz elektronisch kommutierter Maschinen zunächst für Spezialanwendungen (Bild 8). Eine Ablösung klassicher Gleichstrommotoren ist zur Zeit noch nicht zu erwarten.

Die Ablösung analoger Regelungen durch digitale ermöglicht in der Antriebstechnik eine neue Qualität. An die Stelle der Regelung der Drehzahl oder Lage als eindimensionale Größen tritt die Steuerung von Bewegungsabläufen unter Berücksichtigung des mechanischen Übertragungssystems nach Optimalitätskriterien. Dabei wird gleichzeitig eine gute Kompatibilität mit übergeordneten Automatisierungsebenen erreicht. Ein erster Schritt der Entwicklung ist gekennzeichnet durch die Anwendung einer digitalen Lageregelschleife, überlagert zu einer analogen Drehzahlregelung [15] [16]. Ein Mikrorechner wird als Regler eingesetzt und ermöglicht die Anpassung an konkrete Aufgaben durch Programmierung. Ein weiterer Entwicklungsschritt ist gekennzeichnet durch die Einbeziehung der Drehzahlregelschleife in den Aufgabenumfang des Mikrorechners. Unter Berücksichtigung einer digitalen Stromregelung und Ansteuerung ergibt sich damit für den Antrieb eine durchgehend digitale Signalverarbeitung. Durch die Möglichkeit der Steuerung noch vor programmierbaren Programmabläufen, der Selbstüberwachung und -protokollierung und der eindeutigen Reproduzierbarkeit der Vorgänge ergibt sich gegenüber der klassischen Analogtechnik eine neue Qualität, die zugleich Voraussetzung ist für die Ablösung von Mechanismen. Ein weiterer Entwicklungsschritt ermöglicht die Einbeziehung des schwingungsfähigen mechanischen Übertragungssystems. Durch den Übergang von der Regelung skalarer Größen zur Regelung des Vektors des Zustandes der Bewegung wird es möglich, den Bewegungsablauf nach optimalen Gesetzen zu führen (Bild 9). Ein Führungsgrößenrechner dient so der Vorgabe einer Führungsgröße, daß die Begrenzungen des realen Systems ausgenutzt, aber nicht überschritten werden [17] [18]. Nach dem Prinzip der Regelung des Zustandsvektors lassen sich mit Mikrorechner-Reglern Asynchronmaschinen ähnlich wie Gleichstrommaschinen führen. Mikrorechner ermöglichen die praktische Verwirklichung dieses Prinzips der feldorientierten Regelung.

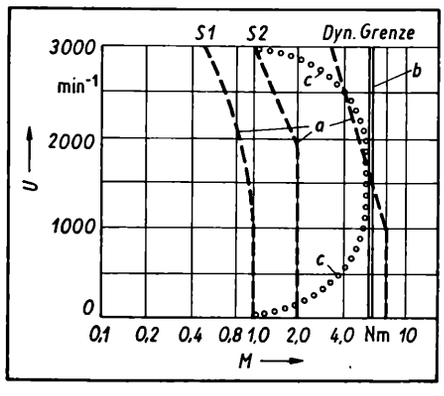


Bild 8. Belastungsgrenzkennlinie eines Gleichstromstellmotors (*a*) und eines Elektronikmotors (*b*) und Anpassung an die Beschleunigungskennlinie eines Roboters (*c*)

4. Anwendung der Mikroelektronik zur Steuerung von Bearbeitungs- und verfahrenstechnischen Prozessen

Bezüglich der steuerungstechnischen Ausrüstung von Be- und Verarbeitungsmaschinen existieren z.Z. der im Bild 10 ausgewiesene Stand und Trend [19]. Das heißt, ab Mitte der 80er Jahre ist damit zu rechnen, daß in hochindustrialisierten Ländern der Ausrüstungsgrad von Maschinen mit speicherprogrammierbarer Steuerungstechnik auf Mikrorechnerbasis die 50%-Grenze überschreitet. Das rasche Vordringen dieser Technik erklärt sich dadurch, daß die Er-

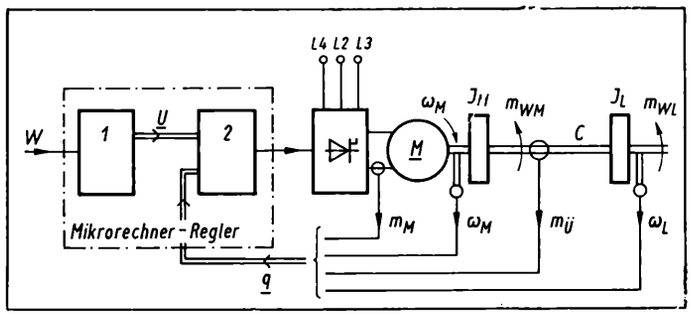


Bild 9. Regelung des Zustandsvektors q eines Bewegungsablaufs entsprechend dem Steuervektor u
1 Führungsgrößenrechner; *2* Zustandsregler
Die Komponenten des Zustandsvektors q sind:
w_M Motormoment; M Winkelgeschwindigkeit am Motor; m_{ij} über die Welle übertragenes Moment; L Winkelgeschwindigkeit an der Last

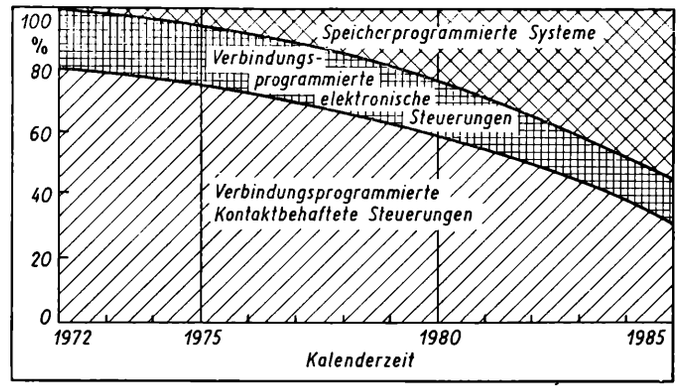


Bild 10. Entwicklung des Anteils speicherprogrammierter Steuerungssysteme bei Maschinensteuerungen

stellungszeiten und der Gesamtaufwand für die Realisierung von Steuerungsprojekten im Vergleich zur verbindungsprogrammierten Technik entscheidend gesenkt werden können.
Unter den speicherprogrammierbaren Systemen haben insbesondere die PC- und die CNC-Systeme (**P**rogrammable **C**ontroller bzw. **C**omputerized **N**umerical **C**ontrol) Bedeutung für die Automatisierung von Be- und Verarbeitungsprozessen.
Tafel 1 vermittelt zunächst eine Übersicht über Parameter, Funktionsinhalt und Aufbautechnik der programmierbaren Steuerungssysteme (PC-Systeme) des gesamten, international verfügbaren Leistungsbereichs, und Tafel 2 verdeutlicht die mit solchen Systemen erzielbaren technisch-ökonomischen Effekte. Zunächst nur dafür vorgesehen, Kontakttechnik durch zuverlässigere, flexiblere und dadurch insgesamt kostengünstigere Elektronik abzulösen, haben sie seit ihrer Einführung Ende der sechziger Jahre mit jährlichen Steigerungsraten von 50 bis 100 % eine außerordentlich rasche Verbreitung erfahren. Heute beherrschen sie den Bereich zwischen den verbindungsprogrammierten Einrichtungen und den freiprogrammierbaren Prozeßrechnersystemen [21].
Zu den bemerkenswertesten neuesten Innovationen im mittleren und oberen Leistungsbereich gehören intelligente Zusatzbaugruppen, die die Zentraleinheit von zeitkritischen Verarbeitungsausgaben entlasten sowie die Ansteuerung und Überwachung von Stromrichter-Ein- und -Zweiquadrantantrieben, von Schrittmotoren und von Drehstrom-Positionierantrieben zulassen. Damit wird systemtechnisch die Brücke zur Stromrichtertechnik, zur numerischen Steuerungstechnik sowie zu den Robotersteuerungen, d.h. zu den wichtigsten Komponenten moderner bedienarmer Fertigungssysteme, geschlagen und der Weg zu leistungsfähigen Automatisierungsgerätesystemen eröffnet, die flexibel an den jeweiligen Anwendungsfall anpaßbar sind.
Bezüglich der CNC-Systeme sind gegenwärtig zwei konzeptionelle Varianten zu unterscheiden, und zwar

- CNC-Systeme, bei denen die gesamte Fertigungsvorbereitung EDV-gestützt durchgeführt wird
- CNC-Systeme, die vor Ort aus den Fertigungsunterlagen programmiert werden können (Handeingabesteuerungen).

Den letzteren kommt in Form mobiler Kompakt-CNC besondere Bedeutung zu. Diese besteht insbesondere darin [22], daß bisherige Hemmnisse bei der breitenwirksamen Einführung der NC-Technik, wie

- hohe Investitionskosten
- EDV-orientierte Produktionsvorbereitung
- Änderung der eingespielten Betriebsorganisationsform
- fehlendes qualifiziertes Personal,

schneller überwunden werden können.
Dominierende Merkmale solcher Steuerungen sind [4]:

- kompakte Ausführung, so daß die gesamte CNC-Steuerung z.B. im Bedienpaneel einer Maschine Platz findet
- leichte Austauschbarkeit der gesamten Steuerung im Havariefall
- Ausführung der Gesamtanlage (Maschine und Steuerung) als eine Transporteinheit mit fester Verkabelung (Zuverlässigkeit!)
- gediegene Softwareunterstützung bei der Programmierung und Bedienung.

Ein typischer Vertreter solcher Steuerungssysteme ist die Handeingabesteuerung CNC-H-600 des VEB Numerik „Karl Marx".
Im Bereich des Automatisierungsanlagenbaus ermöglicht der Einsatz der Mikroelektronik, insbesondere der Mikrorechentechnik einschließlich der oben beschriebenen PC-Systeme den Übergang von zentralisierten zu dezentral strukturierten Automatisierungssystemen, die bei geringem Kostenaufwand eine höhere Systemverfügbarkeit gewährleisten. Darüber hinaus wird durch den Einsatz

Tafel 1. Typische Eigenschaften programmierbarer Steuerungssysteme [3]
KOP Kontaktplan
FUP Funktionsplan
AWL Anweisungsliste

	Leistungsbereich	unterer	mittlerer	oberer
Funktionsinhalt	Leitfunktionen			●
	Textverarbeitung			●
	Positionieren			●
	Reglerfunktionen		●	●
	Analogwertverarbeitung		●	●
	Arithmetikfunktionen		●	●
	Vergleicherfunktionen	●	●	●
	Sprungfunktionen	●	●	●
	Zeit- und Zählfunktionen	●	●	●
	Ablaufsteuerfunktionen	●	●	●
	Verknüpfungsfunktionen	●	●	●
Technische Parameter	Zahl der binären Ein- und Ausgänge	8...256	256...1024	1024...8192
	Zahl der analogen Ein- und Ausgänge	–	...16...	...256...
	Speicherkapazität	0,5...4 K (EPROM, E^2PROM, RAM)	2...16 K (EPROM, RAM)	2...1024 K (EPROM, RAM)
	Verarbeitungseinheit	Einprozessor-systeme	Ein- und Zweiprozessorsysteme	Multiprozessor-systeme
	Zykluszeit je 1K Worte	5...50 ms	2,5...10 ms	1...5 ms
	Zähler und Zeitstufen	16...64	32...512	...512
	Binäre Merker	32...512	256...2048	...4096
	Busschnittstellen für	–	dezentr. Peripherie Rechnerkopplung Standardperipherie	dezentr. Peripherie Rechnerkopplung Standardperipherie
	Programmiergeräte-technik	Hand- u. Koffergeräte mit LED oder LCD-Display	transportable u. stationäre Bildschirmgeräte	transportable u. stationäre Bildschirmgeräte
	Eingabefachsprache	KOP, AWL	KOP, FUP, AWL	KOP, FUP, AWL
Aufbautechnik	Bauform	Eingehäuse-Kompaktaufbau	Modularer Robustaufbau mit Flachbaugruppen oder Robustbausteinen	Baugruppenträgertechnik mit Steckkarten
	Räumliche Anordnung	Zentrale Verarbeitungseinheit mit sternförmiger Verkabelung	Konzentrierter und verteilter Aufbau möglich	

Tafel 2. Vergleich Kontakttechnik – programmierbare Technik [2]

Parameter	Relaisaufbau	Programmierbare Steuerung 12 Eingänge/8 Ausgänge
Leistungsaufnahme	40 VA	< 11 VA
Masse	10 kg	1,5 kg
Platzbedarf	2500 cm²	250 cm²
Lebensdauer	10000 h	150000 h
Verdrahtungszeit	8 h	1 h
Preisindex	150 – 400	100

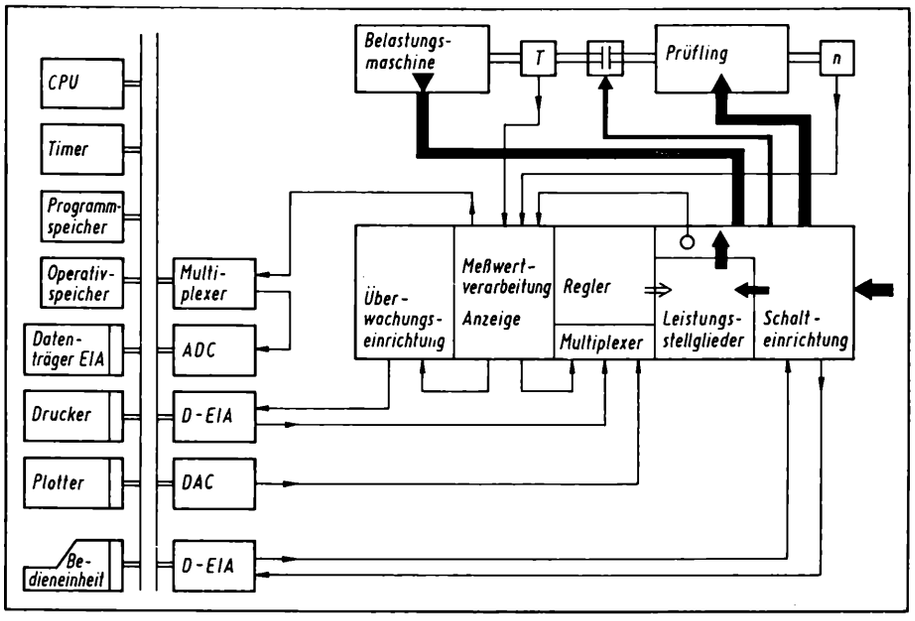


Bild 11. System Konfiguration – automatisierter Prüfstand für elektrische Maschinen

der Mikrorechentechnik in verfahrenstechnischen Anlagen

- die Kommunikation zwischen Anlage und Anlagenfahrer verbessert
- die einfachere Ausführung von Änderungen bei der Inbetriebnahme ermöglicht
- der Geräte- und Materialeinsatz reduziert
- und der Aufwand für Projektierung, Montage, Inbetriebnahme und Wartung gesenkt.

Eine entsprechende Gerätetechnik wird in der DDR unter dem Warenzeichen „audatec" bereitgestellt [15].

5. Anwendung der Mikroelektronik zur Automatisierung von Prüfprozessen

Die Aufgabenstellung bei der Automatisierung von Prüfprozessen ist identisch mit der allgemeinen Problemstellung der automatisierten Prozeßführung und Prozeßsimulation, wobei in der Regel höhere Anforderungen an die Anzahl und Genauigkeit der erfaßten Meßwerte gestellt werden und die Varianten der Prozeßzustände wesentlich erweitert sind.

Zwingende technische Randbedingungen für die Anwendung von Prüfautomaten sind gegeben

- bei der Prüfung von Schaltungen, Geräten und Anlagen im Echtzeitbetrieb, wenn die Ablaufgeschwindigkeit der zu beeinflussenden und zu erfassenden Prozeßzustände die Operationsgeschwindigkeit des Menschen übersteigt und eine Veränderung der Zeitbasis das Prüfergebnis in unzulässiger Weise beeinflußt.
- bei der Prüfung von Anordnungen hoher Komplexität, wenn die Eingrenzung von Fehlerstellen eine variable Prüfstrategie erfordert.

Darüber hinaus sprechen technisch-ökonomische Vorteile für die Anwendung von Prüfautomaten

- in der Zwischen- und Endprüfung bei der Massenfertigung insbesondere bei Einordnung der Prüfprozesse in eine bedienarme Fertigung
- zur Herstellung eines geschlossenen Kreises von Fertigung und Prüfung über die statistische Bewertung des Prüfergebnisses bzw. die mathematische Analyse der Zusammenhänge zwischen Einflußfaktoren und Zielgrößen
- wenn über die Erhöhung der Anzahl der erfaßten Prüfparameter oder z. B. durch den Übergang von quasistationären Prüfabläufen zu dynamischen bzw. stochastischen Modellanalysen die Effektivität der Erfassung des Prüfergebnisses oder dessen Aussagekraft erhöht werden kann.

Die Analyse der gegenwärtigen Prüfabläufe zeigt, daß ein hoher vielfach manueller Arbeitsaufwand erforderlich ist für

- die Durchführung von Voruntersuchungen am Prüfling (Überprüfung der prinzipiellen Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit einzelner Baugruppen, deren elektrischer Abgleich und mechanische Justage usw.)
- die Vorbereitung des Prüflings zur Endprüfung (elektrischer Anschluß, Fixierung des Prüflings in der Prüfvorrichtung, Anbringung von Meßwertaufnehmern usw.) und
- die Fehlererkennung, Fehlerortung und -beseitigung.

Demgegenüber tritt der für die eigentliche Durchführung der Endprüfung (Einstellung von Betriebszuständen, Erfassung von Meßwerten und Zustandsgrößen, Protokollieren und Bewerten der Prüfergebnisse) erforderliche Zeitaufwand in vielen Fällen in den Hintergrund — andererseits ist das aber gerade jener Teil des Prüfprozesses, dessen Automatisierung am kompliziertesten ist. Daraus ergibt sich das Erfordernis sowohl die Konstruktion der Erzeugnisse als auch den technologischen Fertigungsprozeß so zu gestalten, daß sie den Bedingungen einer automatisierten Prüfung besser entsprechen und insbesondere der erstgenannte Teil der Prüfaufgaben gleichermaßen automatisierbar wird.

Wenn auch die Bedingungen für die automatisierte Durchführung der Endprüfung weitaus günstiger sind und die Anwendung von Prüfautomaten bei vielen Baugruppen und Erzeugnissen der Mikroelektronik heute Stand der Technik ist, stellt sich auch hier die Frage danach, mit welchen Mitteln, insbesondere unter Nutzung der mit der Anwendung der Mikrorechentechnik gegebenen Möglichkeiten, die Effektivität des Prüfprozesses und die Aussagekraft der Prüfergebnisse im Gesamtbereich der Erzeugnisse der Elektrotechnik erhöht werden können.

Dabei zeigt sich, daß das nicht nur ein Problem der Automatisierungstechnik im engeren Sinne ist, sondern gegebenenfalls in noch viel stärkerem Maße eine neuartige Aufgabenstellung für die theoretische Durchdringung und mathematische Modellierung des Prozeßablaufes bzw. der stationären und dynamischen Eigenschaften des betrachteten Erzeugnisses.

Betrachtet man z. B. den klassischen Prüfablauf der Typprüfung einer elektrischen Maschine, so sind es zwei Aufgaben, die den Zeitumfang der Prüfungen und damit die Anzahl der erforderlichen Prüfeinrichtungen wesentlich bestimmen. Das ist zum einen der mechanische Aufbau des Prüflings auf einem Prüfstand und das Ankuppeln an eine Belastungsmaschine als Mittel der Prozeßsimulation und zum anderen der Erwärmungslauf der Maschine als Voraussetzung für die Erfassung der Prüfergebnisse an der betriebswarmen Maschine. Beide Maßnahmen dienen der Erfassung der Parameter der Maschine unter definierten stationären Bedingungen und dem Nachweis der Einhaltung der vereinbarten Nennparameter. Zu einer im Sinne der Prüfung des Erzeugnisses völlig analogen Aussage gelangt man, wenn z. B. der Prüfling ungekuppelt betrieben und durch definierte Veränderung der Eingangsgrößen im dynamischen Betriebszustand belastet wird.

Unter den Bedingungen der mikrorechnergesteuerten Prüfung sind dabei alle Voraussetzungen für die Prozeßführung und Meßwerterfassung im dynamischen Betrieb gegeben. Notwendige Voraussetzung für die Bewertung des Prüfergebnisses ist die Abspeicherung eines unter diesen Bedingungen gültigen mathematischen Modells des Prüflings im Rechner.

In analoger Weise steht die Frage nach der Erhöhung der Aussage-

kraft der Prüfergebnisse, d.h. die Problematik, aus den im Prüfprozeß erfaßten Abweichungen der Parameter von den Nennwerten, Schlußfolgerungen für eine gezielte Beeinflussung der Fertigung abzuleiten. Auch hier bietet die Anwendung der Mikrorechnertechnik im Prüfprozeß neue Möglichkeiten.
Ausgehend von der Aufgabenstellung der klassischen Typprüfung von Gleichstrommaschinen und der üblichen Konfiguration des Leistungskreises zeigt Bild 11 die System-Konfiguration für die Automatisierung einer gegebenen Prüfeinrichtung. Für die Gestaltung der Schnittstellen zum Rechner sind bestimmend

- die Anwendung analoger Regler
  und damit das Erfordernis der Bereitstellung analoger Soll- und Istwertsignale sowie der Umschaltung der Soll/Istwertgrößen entsprechend der Prüfaufgabe in Ermanglung einer echten Mehrgrößenregelung
- die Übertragung analoger Meßwerte
  und damit die Notwendigkeit analoger Verstärkung, Potentialtrennung, Bewertung zeitabhängiger Meßgrößen und Pegelanpassung
- der Aufbau einer Robustperipherie zur Anpassung an die Schaltanlage.

Vorteilhaftere Lösungen mit hierarchisch strukturierter verteilter Intelligenz sind sinnvoll möglich

- bei Verwendung digitaler Mehrgrößenregler
- bei Anwendung digitaler Meßwerterfassung und -übertragung
- sowie bei Einordnung des Prüfstandrechners in eine übergeordnete Rechnerhierarchie und damit verbundener Abrüstung der aufwendigen Standardperipherie.

Trotz der erreichten Fortschritte in der Entwicklung von Baugruppen der Automatisierungstechnik und der Mikrorechentechnik sind zur effektiven Realisierung solcher Aufgabenstellungen noch umfangreichere Arbeiten erforderlich. Die gegenwärtig verfügbaren prozeßorientierten Mikrorechnersysteme (Ursalog 5020, Ursadat 5000, MC 80, MPS 4944 u.a.) erfordern noch einen hohen Aufwand an Eigenleistungen bei der Gestaltung von Prozeßschnittstellen. Die Entwicklung von

- geeigneten Sensoren zur Meßwerterfassung
- schnellen digitalen Meßwerterfassungs- und Meßwertverarbeitungseinrichtungen sowie Meßwertspeichern
- schnellen Arithmetikmodulen
- Mikrorechnern mit größerer Wortbreite und
- leistungselektronischen Stellgliedern mit digitaler Mehrgrößenregelung

sind Aufgaben, die unmittelbar vor uns stehen.

6. Zusammenfassung

Der wesentliche Einfluß der Entwicklung der Mikroelektronik auf das Gesamtgebiet der Elektrotechnik wurde dargestellt. Es bleibt darauf hinzuweisen, daß andererseits Entwicklungen auf dem Gebiet der Mikroelektronik durch die Anforderungen der Elektrotechnik mit bestimmt werden. Kundenspezifische Spezialschaltkreise sind zur Zeit nur für Konsumgüter wirtschaftlich einsetzbar. Im Gebiet industrieller Anwendungen muß auch im absehbaren Perspektivzeitraum mit universellen Schaltkreisen gearbeitet werden. Aufmerksamkeit verdienen dabei besonders Entwicklungen auf dem Gebiet von 16-bit-Mikroprozessoren, hochintegrierten Speichern, Einchiprechnern, Signalprozessoren, da davon Vereinfachungen des Hardwareaufbaus und der Softwareentwicklung zu erwarten sind. Entscheidend ist ferner die Entwicklung integrierter Meßglieder (Sensoren) für die wichtigsten zu messenden Größen.
Die Grenzen der Integration mikroelektronischer Schaltungen sind heute weniger technisch als durch die Ökonomie der Herstellung bestimmt, sie sind somit von den Anforderungen abhängig, die in den hauptsächlichen Anwendungsgebieten bestehen.
Große Aufmerksamkeit erfordert perspektivisch die Softwareentwicklung. Unbedingt müssen eine problemorientierte Programmierung, eine höhere Übersichtlichkeit und einfache Anwendbarkeit von Programmen und Programmbausteinen erreicht werden.

Literatur

[1] *Schreiber, J.:* Present State and Development of Microelectronics. In ETG-Fachberichte, Bd. 11, Mikroelektronik in der Stromrichtertechnik und bei elektrischen Antrieben. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1982
[2] *Gasse, H.-J.; Johannsen, D.; Kierey, F.:* Mikrorechnereinsatz im Kraftwerk Boxberg. Energietechnik, Leipzig 18 (1978) 5, S. 181 – 183
[3] *Naumann, K.; Kierey, F.:* Das Spannungs-Blindleistungsproblem bei der Betriebsführung von Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 8, S. 416 – 419
[4] *Gasse, H.-J.; Brehm, P.:* Darstellung und Überwachung des Betriebszustandes der Sammelschienen in einer Schaltstation mittels Mikrorechner und Farbdisplay. ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 8, S. 414 – 416
[5] *Dressler, D.:* Mikrorechnergestützte Prozeßführung in Umspannwerken. Das Schaltanlageninformationssystem des KAAB und KEA 19 (1983) 4, S. 176 – 180
[6] *Mehnert, H.; Thämelt, G.; Kreuzer, E.:* Systemstruktur und Zuverlässigkeit von Mehrrechnersystemen in Umspannwerken. Energietechnik, Leipzig 33 (1983) 5, S. 189 – 193
[7] *Hoft, R.;* u.a.: Microprocessor Applications for Power Electronics in North America. In: ETG-Fachberichte, Bd. 11, Mikroelektronik in der Stromrichtertechnik und bei elektrischen Antrieben. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1982
[8] *Schönfeld, R.:* Einfluß der Mikroelektronik auf die Entwicklung von Gleichstrom- und Drehstromantrieben. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 10, S. 520 – 522
[9] *Büchner, P.:* Gleichstromantrieb mit verminderten Netzrückwirkungen. 28. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TH Ilmenau 1983. Tagungsmaterial Reihe A1, A2, S. 263
[10] *Seefried, E.; Müller, R.; Winkler, W.:* Optimierte Steuerungsverfahren für Zwischenkreisumrichter. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 10, S. 530
[11] *Pollmann, A.:* Comparison of PWM Modulation Techniques. In ETG-Fachberichte, Bd. 11, Mikroelektronik in der Stromrichtertechnik und bei elektrischen Antrieben. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1982
[12] *Krug, H.; Geitner, G.-H.; Stoev, A.:* Schnelle durchgehend digitale Drehzahl- und Stromregelung von Gleichstromantrieben. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 10, S. 523
[13] *Conrad, H.:* Neue leistungselektronische Bauelemente aus applikativer Sicht. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 10, S. 515
[14] *Simko, T.:* Leistungshalbleiterbauelemente und Kühlkörper in der 1. Hälfte der 80er Jahre. Konferenz Leistungselektronik und ihre Perspektiven bis 1990 von CKD Prag. Tagungsmaterial, S. 12
[15] *Krause, J.:* audatec – mikrorechnergesteuertes Konzept zur Steuerung und Regelung von Automatisierungsanlagen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 1, S. 5
[16] *Gatti, H.:* Positionieren von Antrieben mit dem Automatisierungssystem Simatic S5. Siemens-Energietechnik 5 (1983) 1, S. 65
[17] *Riefenstahl, U.:* Optimale Steuerung von Positionierantrieben. EELKTRIE, Berlin 37 (1983) 1, S. 10
[18] *Schönfeld, R.:* Digitale Regelung elektrischer Antriebe. 28. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TH Ilmenau. Tagungsmaterial Teil A1, A2, S. 27
[19] *Habiger, E.:* Die Lösung kleiner Steuerungsaufgaben mittels speicherprogrammierbarer Mikroelektronikstrukturen. Textiltechnik 32 (1982) 10, S. 612 – 616
[20] Prospektmaterial der Firma Mitshubishi Electric Corporation
[21] *Conrad, H.; Habiger, E.:* Speicherprogrammierte Steuerungen auf der Hannover-Messe '83. messen, steuern, regeln, Berlin 26 (1983) 11, S. 643 – 646
[22] *Haufert, R.:* Beitrag zur Strukturierung mobiler Kompakt-CNC. Dissertation an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden, 1983

EA 5400

Fachbücher zur Anwendung der Mikroelektronik

Zur Anwendung der Mikroelektronik in der Meßtechnik empfehlen wir ergänzend die folgenden Neuerscheinungen aus dem VEB Verlag Technik

Mikrorechner in der Meßtechnik

Von *Ch. Löber* und *G. Will*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.

236 Seiten, 226 Bilder, 11 Tafeln. Leinen mit Schutzumschlag 33,—Mark. Bestell-Nr. 553093 7

(Siehe hierzu auch unsere Rezension auf S. 158)

Sensorelektronik

Primärelektronik von Meßwertaufnehmern

Von *V. S. Gutnikov; A. Lenk; U. Mende*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 260 Seiten, 202 Bilder, 2 Tafeln. Kunstleder mit Schutzumschlag 36,—Mark. Bestell-Nr. 553201 9

Die Redaktion

Meßmittel und Meßmethoden in der energetischen Elektrotechnik unter dem Einfluß der Halbleiter- und Mikroelektronik

W. Brendler, KDT; H. Koettnitz, KDT; Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Die Meßtechnik in Elektroenergieerzeugungs-, -übertragungs- und -verteilungsanlagen dient im wesentlichen zwei Zwecken: der Darstellung und dem Nachweis des stationären oder quasistationären Systemzustandes und der Aufnahme von quasistationären und transienten Systemvorgängen [1].

Die *erste* Aufgabe wird auch heute noch überwiegend durch konventionelle, anzeigende oder registrierende Meßgeräte für die physikalischen, meist elektrischen Meßgrößen — aufgenommen von konventionellen Meßwandlern — erfüllt, jedoch zunehmend im Zusammenhang mit der Automatisierung der Betriebshandlungen in die Steuer-, Regel- und Schutzaufgaben von Prozeßrechnern (Mikrorechnern) in Form einer digitalen Meßtechnik einbezogen. Sie dient vornehmlich zur operativen und disponierenden Orientierung des Betriebspersonals, darüber hinaus nach geeigneter Speicherung, Datenaufbereitung und Datenverarbeitung auch prognostischen Arbeiten, insbesondere in der Systemprojektierung und in der Lastverteilung. Auf diese Einbeziehung der sogenannten Betriebsmeßtechnik in die moderne Sekundärtechnik der energetischen Anlagen wird in einem anderen Übersichtsvortrag dieser Konferenz [2] eingegangen.

Die *zweite* Aufgabe der Meßtechnik dient der Aufnahme funktionaler Abhängigkeiten bestimmter interessierender Betriebsgrößen, wie Strömen, Spannungen, Leistungen, Temperaturen, Drücken usw., von Zeitgrößen, Amplitudenhäufigkeitsverteilungen und Wahrscheinlichkeiten zur Ermittlung von Gesetzmäßigkeiten charakteristischer Verhaltensweisen, Verlaufsformen und Trendentwicklungen, die für die Bemessung von Geräten und Anlagen und für eine stabile, zuverlässige und qualitätsgerechte Elektroenergieversorgung bekannt sein müssen. Diese Meßtechnik beschränkt sich nicht allein auf die erstgenannte Betriebsmeßtechnik, sondern sie verlangt spezialisierte Meßeinrichtungen, die häufig nur vorübergehend an ausgewählten Meßorten eingesetzt werden oder nur im Falle des Auftretens transienter Vorgänge, vorgangsgesteuert, automatisch eingeschaltet werden, z. B. Störungsanalysatoren. An diese Meßtechnik sind nicht nur erhöhte Ansprüche an die Meßgenauigkeit, Störunempfindlichkeit, Meßgrößenaufzeichnung, -speicherung und -verarbeitung sowie an das Auflösungsvermögen der zu messenden Vorgänge zu stellen, sondern auch, da es sich fast stets um Messungen im Hochspannungs- und Hochstrombereich handelt, erhöhte Anforderungen an die Meßgrößenerfassung der Primärgrößen, deren Meßgrößenwandlung, -umformung und -übertragung. Die Messungen werden im Originalsystem (Elektroenergienetz bzw. -anlage), in Prüffeldern [3] oder in Modellanlagen, wie Netzmodellen, Netzanalysatoren und physikalisch analogen oder digitalen Rechenmodellen [1], durchgeführt. Meßverfahren und Meßeinrichtungen werden im zunehmenden Maße digitalisiert [4], da größere Genauigkeiten, höheres Auflösungsvermögen bis in den Frequenzbereich von 10^7 bis 10^8 Hz, hohes Speichervermögen und durch Integration der Meß- und Rechentechnik eine programmgesteuerte Auswertung insbesondere nach statistischen Gesichtspunkten ermöglicht werden. Zentrale oder dezentrale Auswertungsrechner können mit den verschiedensten peripheren Ausgabe- oder Speichergeräten kombiniert werden [5]. Schwierigkeiten bereiten die Kompatibilität mit der konventionellen Schaltanlagentechnik, die Empfindlichkeit gegenüber Störbeeinflussungen (EMC) und die Bereitstellung einer unbeeinflußten Hilfsspannung insbesondere bei Dauereinsatz der Meßeinrichtung an ausgelagerten Meßstellen. Über eine Lösungsvariante der Gewinnung von Hilfsenergie aus dem Hochspannungsnetz unter Nutzung vorhandener Isolieranordnungen informiert ein Konferenzbeitrag der Gruppe Elektrische Maschinen [6].

Prof. Dr.-Ing. habil. *Werner Brendler*, Wissenschaftsbereich Elektrische Maschinen; Prof. Dr.-Ing. *Harald Koettnitz*, Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik; Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

1. Ortsveränderliche Einrichtungen zur automatischen Erfassung von charakteristischen Betriebs-Meßgrößen

Für die Aufnahme von stationären oder quasistationären elektrischen und thermischen Betriebsgrößen an ausgewählten elektrotechnischen Betriebsmitteln in Mittel- oder Hochspannungsschaltanlagen zur Gewinnung charakteristischer Belastungskennlinien über einen langen Zeitraum sei eine im Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik entwickelte ortsveränderliche automatische Meßeinrichtung gezeigt (Bild 1). Sie wurde aus kommerziellen Funktionseinheiten — Meßstellenumschalter, Zeitgeber, Digitalvoltmeter und Lochersystem für Lochstreifen — zusammengestellt, und die elektrischen bzw. die in elektrische umgewandelten thermischen Meßgrößen wurden von den interessierenden, ausgewählten Meßstellen mit einem stör- und beeinflussungsunempfindlichen 5-V-Pegel zu den vor der zentralen Meßeinrichtung eingesetzten Meßwertwandlern, die die Meßwerte in einen Meßbereich von 0 ··· 1000 mV wandeln, übertragen. Dieser Meßbereich ist dem Digitalvoltmeter als zentrales Meßgerät angepaßt. Der vom DV ausgegebene kodierte Meßwert wird dem Lochstreifenstanzer zugeführt. Die Meßeinrichtung wird von einem Taktgeber gesteuert, wobei durch den Meßstellenumschalter die bis zu 100 möglichen Meßstellen abgefragt werden; jede zeitabhängige Meßwertserie wird zeitmarkiert. Die Auswertung der Lochstreifenbänder erfolgt (Bild 2) über ein EDV-Programm, mit dem zunächst die Meßwerte nach Meßstellen in zeitlicher Reihenfolge geordnet, fehlerhafte Werte ausgesondert oder fehlende Werte sinnvoll ergänzt werden. Nach einer Zwischenspeicherung wird die gewünschte Berechnung, z. B. thermische Mittelwerte des Stromes über bestimmte vorgegebene Zeitdauern, arithmetische Mittelwerte, Wirk- und Blindleistungen, Wirk- oder Formfaktoren sowie funktionelle Abhängigkeiten der Belastung oder der Temperatur von der Zeit, Summenhäufigkeitsfunktionen oder Ganglinien durchgeführt, und in Wertetabellen ausgedruckt oder als Grafik ausgegeben. Derartige Auswertungen dienen der Ermittlung von Belastungs- oder Mehrbelastungseinschätzungen für die Dimensionierung von Betriebsmitteln, für die Koordination der Stromtragfähigkeiten und den operativen Betriebsdienst. Eine besondere Aufgabe bei der Einrichtung eines solchen Meßplatzes ist die Anpassung der elektrischen Meßgrößenaufnehmer an die konventionellen Meßwandler der gegebenen Schaltanlage, wobei sich die Brückenwandlerschaltung als sehr geeignet erwiesen hat [7]. Der gesamte Einsatz der Meßeinrichtung muß ohne Betriebsunterbrechung und unter Beachtung der Sicherheitsbedingungen möglich sein. Auf eine ähnliche Meßeinrichtung, die aber hauptsächlich der Erfassung

Bild 1. Ortsveränderliche automatische Meßeinrichtung für Betriebsgrößen in einer Schaltanlage

MW Meßwert; *CMW* kodierter Meßwert, kodierter Zeitwert, Adresse; *St* Steuerimpuls; *MGA* Meßgrößenaufnehmer; *MGW* Meßgrößenumwandler; *MWW* Meßwertwandler

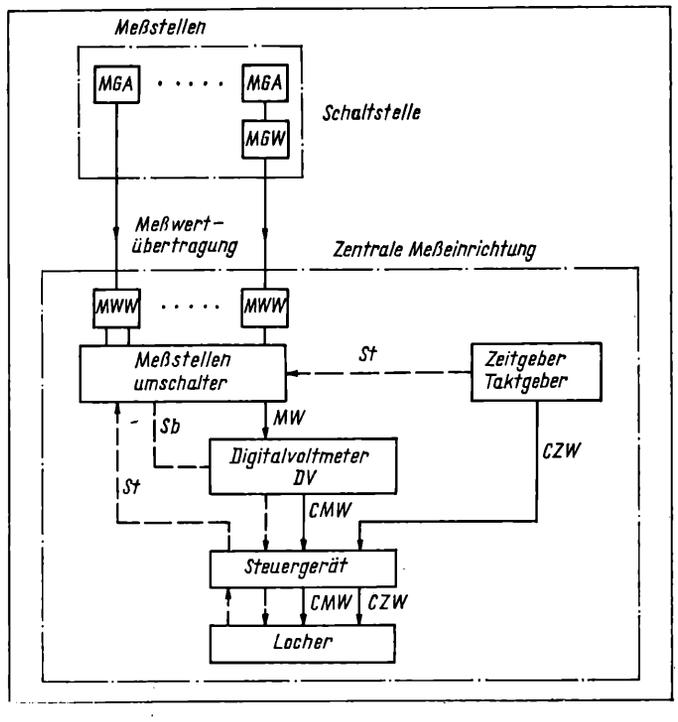
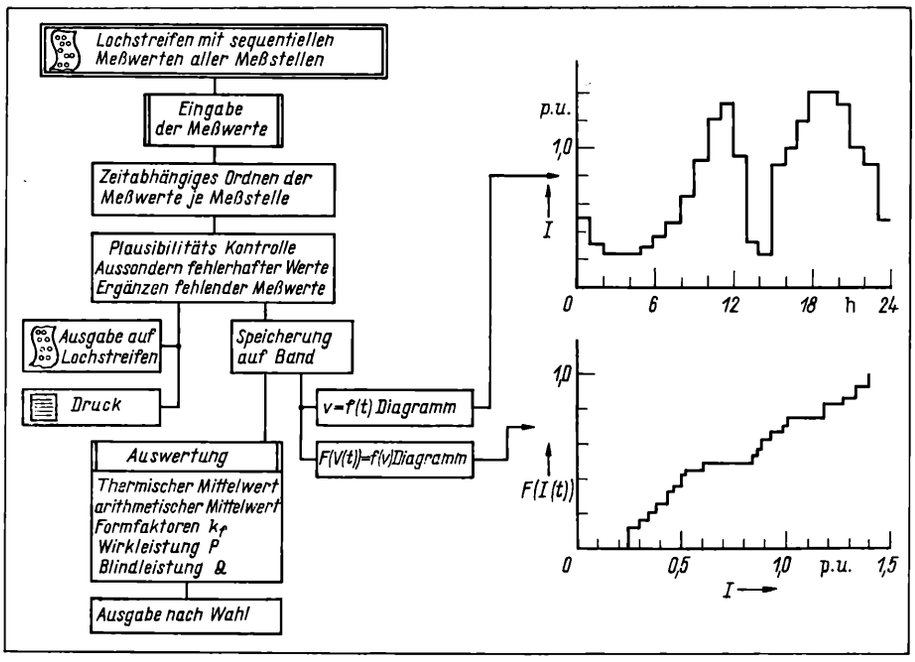


Bild 2. Programm der Auswertung von stationären und quasistationären Betriebsgrößen einer Netz-Meßstelle



transienter Vorgänge anläßlich Schaltungen oder Fehlern im Elektroenergienetz dient und eine Magnetbandspeicherung besitzt, wurde in [8] hingewiesen.

2. Meßtechnische Überwachung der Qualität der Elektroenergie

Der Bedeutung entsprechend, wird die Messung des *Oberschwingungsgehaltes* von Spannungen und Strömen im stationären oder quasistationären Betriebszustand in Netzen aller Spannungsebenen vorgenommen, um Netzrückwirkungen und damit verbundene Qualitätsminderungen der Elektroenergie zu erkennen und zu beurteilen [9]. Die Kurvenform von Spannungen oder Strömen wird durch die Fourierkoeffizienten $A^{(\nu)}$ und $B^{(\nu)}$ der einzelnen harmonischen Komponenten ν, die sich aus der Fourierzerlegung der periodischen Funktion $f(\omega t)$ ergeben, beschrieben. Entweder bestimmt man diese Koeffizienten unmittelbar (direkte Meßverfahren), oder man nimmt die Funktion $f(\omega t)$ auf und bestimmt aus ihr die Koeffizienten (indirekte Meßverfahren) [10].

Nach einem Variantenvergleich aller in Betracht kommenden Meßverfahren wurde, aufgrund des günstigen Wirkungsprinzips für ein universell in den Netzen für Kontroll- und Vergleichsmessungen einsetzbares Oberschwingungsmeßgerät, der Multiplikator mit automatischer Frequenznachregelung bevorzugt und im Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik ein entsprechendes Gerät geschaffen [11]. Das Meßsignal durchläuft darin eine auf die Netzfrequenz ω_N abgestimmte Bandsperre zur Dämpfung der Grundfrequenz. In der PLL-Schaltung werden die Winkelfunktion im $\nu\omega_N t$ und cos $\nu\omega_N t$ erzeugt und in den Multiplikatoren mit den Grundfunktionen gemischt. Nach Integration der Ausgangssignale erhält man die Fourierkoeffizienten, die zur Betrags ($C^{(\nu)}$)- und Phasenwinkel ($\varphi^{(\nu)}$)-Bildung dienen. Die gewünschte Harmonische ν wird vorgewählt, wobei 6 Kanäle parallel die Harmonischen von 6 Meßgrößen oder 6 Harmonische von 1 Meßgröße zu messen gestatten; die Ausgangsgleichspannungssignale können gespeichert und peripher analog oder digital weiterverarbeitet werden.

Zur Erkenntnisgewinnung ist die Modellmethode geeignet, die theoretische und vorausschauende Untersuchungen gestattet und Vergleiche mit Messungen im Originalsystem zuläßt. Zur Oberschwingungsanalyse im Zusammenhang mit Problemen der Elektroenergiequalität wurde ein Modell entwickelt, das aus einer Kopplung eines Netzanalysators, der das zu untersuchende Elektroenergienetz abbildet, mit einem Analogrechner, der das nichtlineare Verhalten des Verbrauchers simuliert, und einem digitalen Rechenmodell zur Simulation eines sinusapproximierten Treppengenerators als Ersatzgenerator besteht (siehe Blockschaltbild 3). Die Meßtechnik als Sekundärteil des Elektroenergiequalitätsmodells wurde mit digitaler Signalverarbeitung ausgerüstet. Für einen disponiblen Einsatz in den Elektroenergienetzen wurde sie in 2 Stufen ausgeführt.

Die 1. Stufe besitzt alle für die digitale Messung der Elektroenergiequalitätsfaktoren notwendigen Anpaßglieder. Mit Hilfe des Serialisierungssystems des Meßsystems ESDM 31 werden die Meßwerte auf Lochstreifen gespeichert. Die weitere Auswertung kann auf einem Rechnersystem programmgesteuert vorgenommen und die gemessenen Funktionen mit einem x-y-Koordinatenschreiber ausgeschrieben oder auf einem Bildschirm ausgegeben werden.

Die 2. Stufe bezieht ein Mikrorechnersystem ein. Die Ausgabe der Daten erfolgt unmittelbar am Modell über Drucker, Lochband oder Magnetband. Über ein Tastatur-Bildschirm-System wird ein Dialog mit dem Modell ermöglicht. Die große Anzahl der verarbeitbaren Daten gestattet den Einsatz eines Analogmultiplexers und dadurch die nahezu simultane Messung in allen 3 Phasen. Die Steuerung des Modells erfolgt durch den Mikrorechner in Verbindung mit der Hardware-Steuerung. Das Meßsystem ist so ausgelegt, daß geringfügige Änderungen der Netzfrequenz keine Auswirkungen auf das Meßergebnis haben und für die im Netz vorhandenen Ausgangspegel der Meßwandler Anpassungsglieder existieren. Damit ist es möglich, die Sekundärtechnik auch unmittelbar in das Original-Elektroenergienetz beispielsweise zum Zwecke einer *Oberschwingungsanalyse* einzusetzen. Die Auswertungsausgabe einer in einem Mittelspannungsnetz mit netzgeführten Stromrichteranschlüssen aufgenommenen Spannungskurve zeigt beispielsweise Bild 4. Links ist die auf dem x-y-Koordinatenschreiber ausgeschriebene Kurve, rechts ein Auszug der ausgedruckten FFT-Analyse mit Histogramm angegeben. Die Programme umfassen weiterhin Effektivwertberechnungen, diskrete und begrenzte Klirrfaktoren, Augenblickswertabweichungen und bezogene Klirrfaktoren.

3. Messung transienter Netzvorgänge

Für die Untersuchung transienter und der heute besonders interessierenden schnellen transienten („fast transients") Spannungs- und Stromvorgänge mit Signalfrequenzen bis in den MHz-Bereich hinein, die häufig mit hohen Überspannungen und großen Steilheiten der impulsartigen Verlaufsformen verbunden sind, haben sich die digitalen Speicheroszilloskope mit Band- und Diskettenspeichern bewährt. Sie bieten die Möglichkeit einer Beobachtung des Vorgangs unmittelbar am Meßort und der späteren Ausgabe der in mehreren Kanälen aufgenommenen Vorgänge als Schriebe oder auch zur weiteren digitalen Verarbeitung der Meßwerte in peripheren Rechenanlagen. Ein Beispiel des hohen Auflösungsvermögens zeigt Bild 5 von 110-kV-Ein- und -Ausschaltvorgängen eines 85-MVA-Ofentransformators mit einer 22-kV-Tertiärwicklung für die Speisung des Zusatztransformators. Die Oszillogramme wurden 22-kV-seitig über einen kapazitiven Spannungsteiler zur Gewährleistung der unverfälschten Wiedergabe der bis in den 50-kHz-Bereich auftretenden Schwingungen aufgenommen. Die Dehnung des Einschaltvorganges (siehe Bild) läßt die Vorzündungen des Druckluftschalters („prestrikes") und die durch die Kabelverbindung verursachten Wandler-

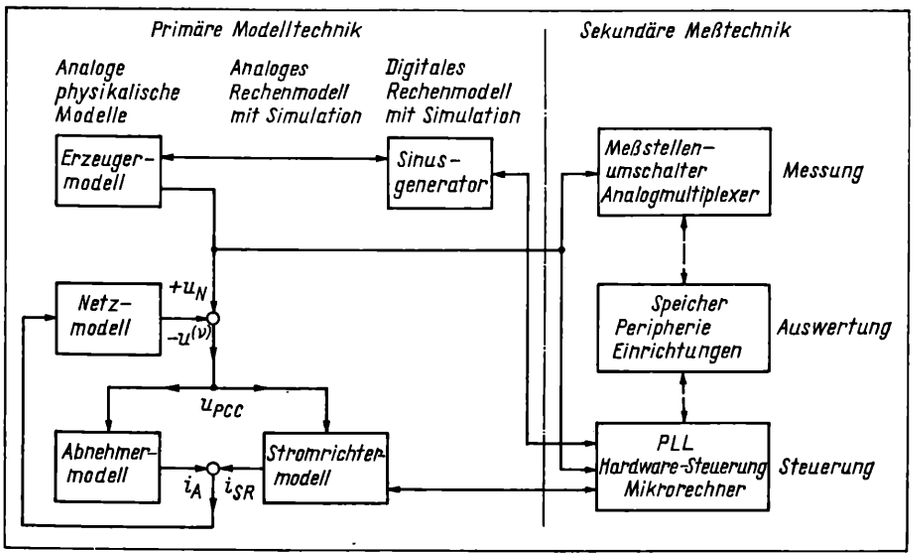


Bild 3. Blockschaltbild des Elektroenergiequalitätsmodells

wellenvorgänge erkennen, wobei eine Überspannung von 2,7 p.u. tertiärseitig auftrat. Der Ausschaltvorgang zeigt zwischen 2 bis 6 ms 12 Wiederzündungen, deren Dehnung im Bereich 0,5 ms die hochfrequenten Schwingungen als Folge der Ausgleichsvorgänge zwischen Leistungsschalter und Sammelschiene und — überlagert — der Transformator-Eigenschwingungen deutlich werden läßt.
Derartig auflösende Meßgeräte verlangen eine durch Fremdfelder und Eigenschwingungen des Meßgrößenaufnahme- und -wandlungskreises weitgehend unbeeinflußte Meßgrößenzuführung und stellen hohe Ansprüche an den Meßplatzaufbau, die Sekundärgeräte und deren Netzeinspeisung.

4. Breitbandige Teilentladungsmeßtechnik (TE)

Die Teilentladungsmessung ist als eine Standardprüfung für die Beurteilung der Qualität der Isolierungen von Hochspannungsgeräten, wie Transformatoren, Meßwandlern, SF_6-isolierten Schaltanlagen und rotierenden Maschinen, sowie von Kabeln und anderen Betriebsmitteln nicht mehr wegzudenken [12]. Während früher die relativ schmalbandige TE-Signalverarbeitung eine empfindliche TE-Messung nur in einem geschirmten Prüffeld zuließ, TE-Messungen damit nur beim Hersteller möglich waren, haben die modernen, auf der Basis der Halbleiterelektronik aufgebauten breitbandigen Geräte eine grundsätzliche Änderung bewirkt [13] [14].
Die sehr breitbandige TE-Messung bringt als wesentliche Vorteile:

1. eine Verbesserung des Nutz-Störsignalverhältnisses und damit eine höhere nutzbare Meßempfindlichkeit
2. eindeutige Unterscheidungskriterien zwischen Nutz- und Störsignal, damit schaltungstechnisch im Gerät die Möglichkeit einer elektronischen Störsignalreduzierung
3. die Fehlerortung in Hochspannungskabeln durch breitbandige Verarbeitung von TE-Signalen, die in einer Impulsaufbereitungs- und -auswahlstufe hinsichtlich der Laufzeiten ausgewertet und deren Abstände digital als Wegstrecke angezeigt werden.

Die genannten Vorteile schaffen damit auch die Voraussetzung, die TE-Messung zur Diagnose des Isolationszustandes von elektrischen Betriebsmitteln unmittelbar am Einbauort ohne wesentlichen Abschirmaufwand durchzuführen. Von Mitarbeitern des Wissenschaftsbereiches Hochspannungstechnik durchgeführte Untersuchungen an SF_6-Schaltanlagen und an verlegten Kabeln haben ergeben, daß ohne jegliche Abschirmung Ladungsempfindlichkeiten von weniger als 100 pC erreicht werden können. Bild 6 zeigt die prinzipielle Meßschaltung für die TE-Messung. Nachteilig ist, daß für die TE-Messung vor Ort an eingebauten Betriebsmitteln zur Ankopplung der TE-Signale Anlagenteile freigeschaltet werden müssen, um den Koppelkondensator anzuschließen. Künftig sollten daher besonders gefährdete Betriebsmittel bereits integrierte Koppelkondensatoren enthalten. Die vom VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" in Dresden entwickelte TE-Gerätetechnik wurde in seinen Grundprinzipien im Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik konzipiert und erprobt. Über die derzeit laufenden Arbeiten, die darauf gerichtet sind, elektrische TE-Messungen zur Diagnose elektrischer Betriebs-

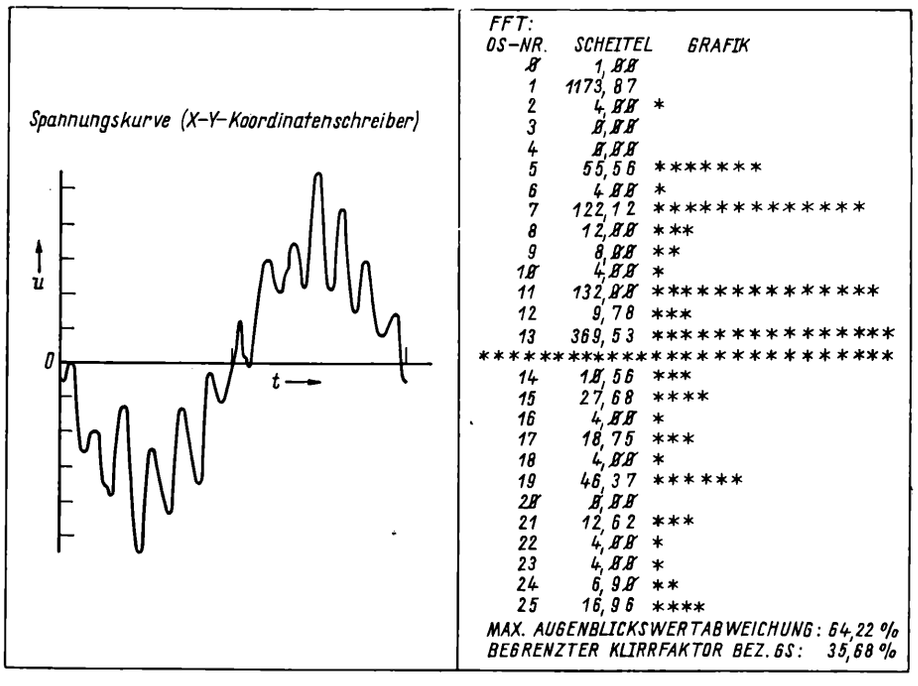


Bild 4. Auswertungsausgabe einer FFT-Oberschwingungsanalyse eines Mittelspannungsnetzes

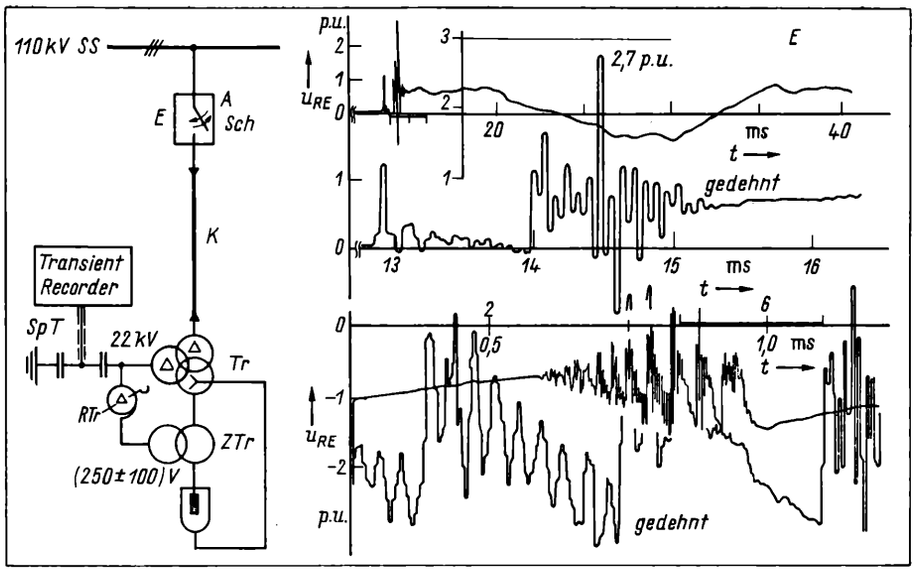


Bild 5. Oszillogramme von Ein-(E) und Aus-(A)schaltvorgängen eines 85-MVA-Ofentransformators. Ausschriebe vom Transient-Recorder

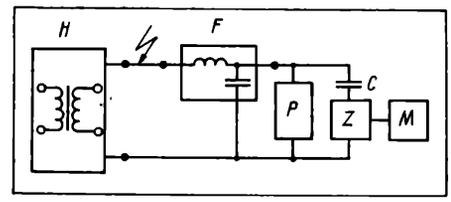


Bild 6. Prinzip der TE-Messung
H Hochspannungserzeuger
F Sperrfilter
P Prüfling
C Koppelkondensator
Z Meßimpedanz
M TE-Meßeinrichtung

mittel auch ohne Freischaltung von Anlagenteilen zu ermöglichen, wird in einem Vortrag in der Gruppe Prüf- und Meßtechnik auf dieser Konferenz berichtet.

5. Meßinstrumente mit quasianaloger LED-Anzeige und Schwellwertsignalisierung am Beispiel Leistungsfaktormesser

Die in industriellen Anlagen und in Schaltwarten eingesetzten elektromechanischen Zeigermeßinstrumente haben in der Regel die Aufgabe, dem Bedienungspersonal die erforderlichen Informationen über den jeweiligen Betriebszustand zu geben. In den seltensten Fällen dienen sie einer exakten Messung mit erhöhten Anforderungen an die Genauigkeit der Meßwerte. Besonders dann, wenn sich eine Vielzahl von Meßinstrumenten in der Warte befindet und mehrere gleichzeitig vorzunehmende Ablesungen die Aussage über einen definierten Betriebszustand bestimmen, leidet die Überschaubarkeit. Hierzu trägt wesentlich auch noch die vom System des Meßwerkes vorgegebene, zum Kreisbogen geformte Skalenanordnung bei.

Eine Lösung, die Anzeige optisch übersichtlicher zu gestalten, ist die Abbildung der Meßgröße als leuchtender Punkt auf einer Zeile oder als leuchtendes Band. Realisieren läßt sich diese Aufgabe sehr einfach durch Anwendung des für diesen Zweck verfügbaren LED-Ansteuerschaltkreises A 227 D, der in Abhängigkeit vom Betrag einer die Meßgröße repräsentierenden Spannung eine Anzahl von Leuchtdioden (LED) nach Wahl punktförmig oder als Band zum Aufleuchten bringt [15]. Der Schaltkreis ist für die Ansteuerung von 12 LED konzipiert, wobei sich durch Kaskadierung die Anzahl verdoppeln oder verdreifachen läßt.

Im Prinzip beinhaltet der Schaltkreis in seiner Struktur eine Kette von 12 Komparatoren, kombiniert mit einer Auswertelogik. Durch Vergleich des anliegenden Spannungswertes der Meßgröße mit einer aufgeprägten einstellbaren Referenzspannung erfolgt über die Komparatorenkette die logische Entscheidung zur Ansteuerung der LED-Zeile, wahlweise punkt- oder bandförmig leuchtend.

Mit einer im Wissenschaftsbereich Elektrische Maschinen erprobten, relativ einfachen äußeren Beschaltung kann die Anordnung auch zur Anzeige des Quotienten zweier Wechselgrößen in Abhängigkeit ihrer unterschiedlichen Phasenlage, des Leistungsfaktors, genutzt werden [16]. Die prinzipielle Funktion einer quasianalogen Anzeige des Leistungsfaktors an der LED-Kette ist aus Bild 7 ersichtlich.

In der Komparatorenkette des Schaltkreises A wird in Verbindung mit der zugeführten Referenzspannung U_R ein Vergleich der Spannungen U_1 und U_2 vorgenommen. Je nach dem Wert des Verhältnisses von U_1 zu U_2 erfolgt die Ansteuerung der Leuchtdioden L. U_2, als Mittelwert der Spannung U_4, ist die von einem Präzisionsgleichrichter G gleichgerichtete Meßgröße für die Netzspannung U_U. Die Spannung U_1, der Mittelwert von U_3, ist ein Maß für die mittels eines phasenempfindlichen Gleichrichters P gleichgerichtete Meßgröße $U_u \cos \varphi$. Gesteuert werden die im Rhythmus einer halben Periode der Netzfrequenz alternierenden Durchlaß- und Sperrphasen von P durch die Rechteck-Zeitfunktion der Spannung U_5, die über einen Schwellwertschalter S aus den um den Phasenwinkel φ zeitlich verschobenen Nulldurchgängen der aus dem Strom des Meßkreises abgeleiteten Spannung U_I gebildet wird. Durch Bemessung der äußeren Widerstandsbeschaltung bzw. mit der Vorgabe des Betrages der Referenzspannung lassen sich sowohl der Anzeigebereich des Quotienten als auch die Quadrantenzuordnung des Phasenwinkels φ in der LED-Folge des Anzeigebandes festlegen. Mit der Wahl unterschiedlicher Leuchtfarben der LED-Anzeigeelemente ergibt sich die Möglichkeit, Bereichsgrenzen und Schwellwerte optisch zu signalisieren. Für die selbsttätige Steuerung eines optimalen Blindleistungshaushaltes bietet sich an, zugeordnet zu definierten Schwellwerten des Leistungsfaktors, an den Ausgängen des Schaltkreises Relais anzusteuern für eine leistungsfaktorabhängige Stern-Dreieck-Umschaltung von Asynchronmotoren, für die Zu- oder Abschaltung von Phasenschieberkondensatoren oder für die Erregerstromänderung von Synchronmaschinen.

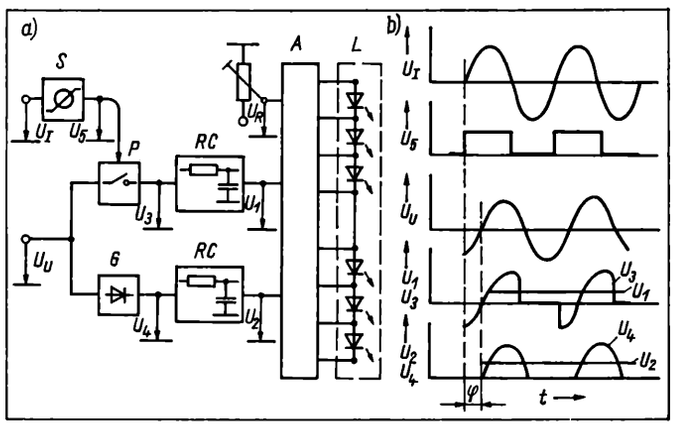
6. Meßwandler für zeitlich konstante und schnell veränderliche Gleichströme

Zunehmend wächst in der elektrischen Automatisierungstechnik das Bedürfnis, für verschiedene regelungstechnische Aufgaben über Meßwertumformer zu verfügen, die einerseits eine Potentialtrennung zwischen Betriebs- und Meßstromkreis gewährleisten und andererseits eine im Zeitverlauf unverfälschte stromrichtungsabhängige Abbildung der Meßgröße im Frequenzbereich von Null bis ins Kilohertzgebiet sichern, um insbesondere auch Stromanstiegssteilheiten in Thyristorstromkreisen mit hinreichender Genauigkeit abzubilden. Die bisher eingesetzten, nach dem Transistorprinzip arbeitenden Gleichstromwandler sind nicht geeignet, diesen Anforderungen gerecht zu werden. Anders dagegen verhalten sich sogenannte Nullflußwandler, bei denen ein geschlossener ferromagnetischer Kreis von der Meßgröße i_1 durchflutet wird und bei dem ein trägheitslos elektronisch geregelter Strom i_2 im Magnetkreis eine Gegendurchflutung aufbringt, die im Idealzustand Durchflutungsgleichgewicht bewirkt,

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = 0 = \mathrm{Hl} = \Phi R_m. \qquad (1)$$

In der praktischen Ausführung wird der die Meßgröße i_1 repräsentierende Strom i_2 von einem Leistungs-Kompensationsverstärker

Bild 7. Quasianaloge Auswertung und LED-Leuchtbandanzeige des Leistungsfaktors
a) Blockschaltbild
b) Spannungs-Zeitverläufe



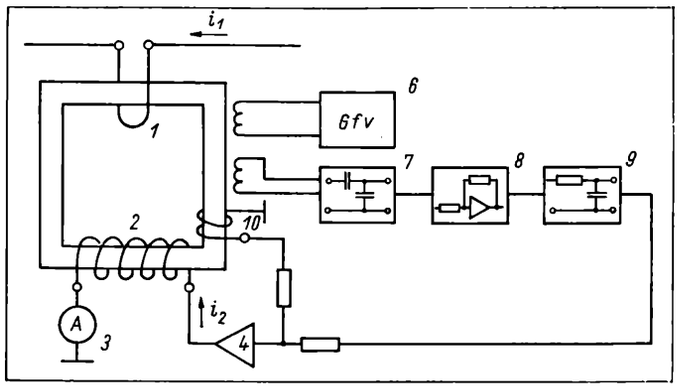


Bild 8. Funktionsprinzip: Gleichstromwandler nach dem Pulslageverfahren
1 Meßwicklung w_1; *2* Kompensationswicklung w_2; *3* Bürde; *4* Kompensationsverstärker; *5* Indikatorsonde im Magnetkern; *6* Vormagnetisierungsgenerator; *7* Differenzierglied; *8* Komparator; *9* Tiefpaß; *10* Induktionswicklung

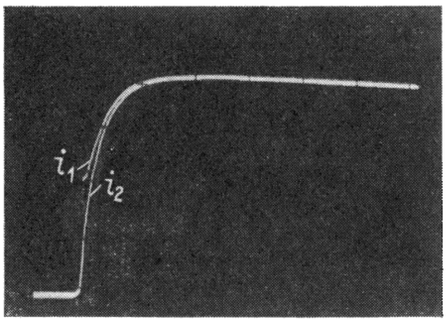


Bild 9. Stromverlauf eines Einschaltvorganges mit einer anfänglichen Stromänderung $\frac{di}{dt} \approx 50 \frac{A}{\mu s}$
i_1 direkt
i_2 über Gleichstromwandler aufgezeichnet

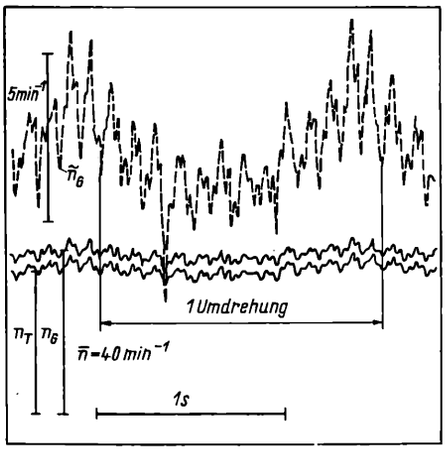


Bild 10. Pulsation der Drehzahl eines ungeregelten, leerlaufenden Stellmotors während einer Umdrehung, bei einer mittleren Drehzahl $n = 40 \text{ min}^{-1}$

aufgebracht. Ein an oder innerhalb des Magnetkernes angebrachter empfindlicher magnetfeldabhängiger Indikator wirkt auf den Verstärkereingang und regelt den Strom i_2, so daß gemäß Gl. (1) der Fluß im Magnetkreis bzw. die magnetische Feldstärke immer den Wert Null aufweist. Als Indikatoren, die auf zeitlich nicht veränderliche Magnetfelder ansprechen, eignen sich magnetfeldabhängige Halbleiterelemente (z. B. Hall-Sonden) und wechselstromvormagnetisierte induktive Sonden.

Das Prinzip eines im Wissenschaftsbereich Elektrische Maschinen entwickelten Gleichstromwandlers zeigt Bild 8. Der Wandler arbeitet nach dem Pulslageverfahren. Als Indikator ist eine winzige wechselstromvormagnetisierte Sonde *5* mit eigenem geschlossenen Magnetkreis [17] [18] als Indikator unmittelbar in den geblechten Kern eingeschichtet. Die in Abhängigkeit von der Durchflutung des Kernes auftretende zeitliche Verschiebung der in der Induktionswicklung der Sonde induzierten Spannungsimpulse wird zur Erzeugung eines pulsdauermodulierten Signals genutzt, das, durch Tiefpaß *9* demoduliert, dem Eingang des Kompensationsverstärkers zugeführt wird, der den Kompensationsstrom i_2 auf Durchflutungsgleichgewicht gemäß Gl. (1) einstellt. Im Bild 9 sind der zeitliche Verlauf eines Stromes i_1 und der sekundär abgebildete Strom i_2 eines Einschaltvorganges mit einem maximalen Stromanstieg von größer 50 A/µs aufgezeichnet.

7. Meßtechnische Erfassung der Ungleichförmigkeit von Drehbewegungen

Ungleichförmige Drehbewegungen treten grundsätzlich dann auf, wenn Unstetigkeiten auf den Bewegungsablauf einwirken. Die Ursache ihrer Entstehung ist sowohl im mechanischen System zu suchen als auch bei elektromotorischen Antrieben in der Qualität der Elektroenergie, mit der die Antriebsmotoren eingespeist werden. Beispiele für eine schlechte Energiequalität sind stark pulsierende Gleichspannungen, hervorgerufen durch elektronische Stellglieder oder nichtsinusförmige Wechselspannungen. Die dadurch ausgelösten Pulsationen des Drehmoments führen zu Pulsationen der Winkelgeschwindigkeit und können in der Automatisierungstechnik die Funktion hochwertiger Antriebe beeinträchtigen.

Im Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik der Sektion wurde der Einfluß untersucht, und es wurde eine geeignete Meßeinrichtung entwickelt, die Schwankungen der Winkelgeschwindigkeit im elektrischen Antrieb und Drehmomentpulsationen von Elektromotoren bei niedrigen Drehzahlen einer Messung und somit einer aussagefähigen Bewertung zugänglich macht [19]. Das Grundprinzip der Meßeinrichtung beruht darauf, daß an der zu untersuchenden Welle als Meßglied ein inkrementaler Geber (IGR) angeordnet ist. Die Geberscheibe mit einer entsprechend hohen Anzahl von Winkelinkrementen z wird optisch abgetastet. Der zeitliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden IGR-Impulsen ist somit der mittleren Winkelgeschwindigkeit während des Durchlaufens des Winkelinkrements indirekt proportional. Im Gerät wird die Zeit mittels einer hohen quarzgenauen Hilfsfrequenz ausgezählt. Die auf die Zahl der Hilfsimpulse bezogene Hilfsfrequenz ist damit direkt proportional der mittleren Winkelgeschwindigkeit für das jeweilige Winkelsegment $2\pi/z$, und alle z aufeinanderfolgenden Werte ergeben den Verlauf der Winkelgeschwindigkeit während einer Umdrehung.

Das Gerät, das vorwiegend für die Untersuchung des Drehzahlverlaufes bei elektronisch gespeisten Gleichstrom- und Drehstromantrieben genutzt wird, arbeitet mit einer automatischen Meßbereichsumschaltung und ist in der Lage, digitale Ausgangsinformationen unmittelbar in einen angeschlossenen Rechner zu liefern sowie mit analogem Ausgangssignal Winkelgeschwindigkeits- und Drehmomentenpulsationen von einem Schreiber aufzeichnen zu lassen. Bild 10 zeigt den aufgenommenen Verlauf der Drehzahl n_G, der Drehzahlschwankung $\tilde{n}_G$ und den einem Gleichstromtacho entnommenen Drehzahlverlauf n_T eines leerlaufenden, ungeregelt betriebenen Stellmotors. Die Drehzahlschwankungen kennzeichnen die konstruktive Auslegung des Läufers mit 13 Nuten und 39 Kommutatorlamellen.

Literatur

[1] *Koettnitz, H.:* Anforderungen und Verfahren zur Untersuchung von Netzvorgängen in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 25 (1981) 10, S. 523 – 530
[2] *Schönfeld, R.:* Anwendung der Mikroelektronik der Elektrotechnik. ELEKTRIE Berlin 38 (1984) 4, S. 137 – 143
[3] *Moritz, G.:* Stand und Entwicklungsvorhaben der digitalen Meßwertverarbeitung im Hochleistungsprüffeld des IPH. Wissenschaftlich-technische Mitteilungen des IPH (Berlin) (1983) 25, S. 11 – 13
[4] *Dittmann, H.; Köppen, K.:* Aspekte bei der Weiterentwicklung der elektrischen Meßtechnik in der DDR. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 12, S. 646 – 650
[5] *Heiling, W.; Töpfer, H.; Hörig, H. J.:* Laborautomatisierung. WGMA-Tagung „Automatisierungstechnik" 1980 Dresden, Konferenzheft S. 27 – 68
[6] *Brendler, W.; Ermisch, J.; Hoppadietz, F.:* Zur Bereitstellung von Hilfsenergie zur Versorgung elektronischer Baugruppen für die Meß- und Schutztechnik in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin (1984) 5 (in Vorbereitung)
[7] *Brendler, W.; Ermisch, J.:* Elektronische Verstärker in neuartigen Stromwandlern für das Elektroenergiesystem. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 30 (1981) 2/3, S. 309 – 315
[8] *Peplinski, B.:* Rechnerkompatible Prozeßdatenspeicherung. 9. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik, TU Dresden (1981) Vortrag B1 – 15
[9] *Winkler, G.:* Elektroenergiequalität. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 1, S. 4 – 6
[10] *Lawrenz, R.:* Messung von Oberschwingungen in Energieversorgungsnetzen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 8, S. 283 – 285
[11] *Drechsler, U.; Winkler, G.; Hertel, H.:* Ein Gerätesystem zur Messung und Überwachung der Harmonischen in Verteilungsnetzen. 28. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, TH Ilmenau (1983) Bericht S. 273 – 276
[12] Partical Discharge Measurements. IEC Publikation 270 (1968)
[13] *Lemke, E.:* Ein neues Verfahren zur Messung von Teilentladungen an langen Hochspannungskabeln. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 358 – 360
[14] *Hauschild, W.; Küttner, H.; Thümmler, K.:* Systeme zur breitbandigen Messung von Teilentladungen. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 353 – 357
[15] LED-Ansteuer-Schaltkreis A 277 D – Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten. Informations- und Applikationshefte „Mikroelektronik" 10; VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder

Patente

[16] *Brendler, W.: Ermisch, J.:* Schaltungsanordnung zur Bestimmung und Auswertung des Leistungsfaktors. WP G01R, 253 8146
[17] *Hertwig, N.; Ermisch, J.; Reiß, M.:* Gleichstrommeßeinrichtung. WP H01F, 253 231/7
[18] *Hertwig, N.; Ermisch, J.; Mann, S.:* Einrichtung zur Messung von Gleichströmen. WP H01F, 253 232/5
[19] *Rosenthal, D.; Zenkel, D.:* Gerät zur Messung der Ungleichförmigkeit von Drehbewegungen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 3, S. 90 – 91

EA 5403

Zuverlässigkeitserhöhung von Elektroenergiesystemen durch optimale Gestaltung von Betriebsmitteln und Anlagen und Vorausberechnung von Betriebsvorgängen[1)]

H. Ambrosch, KDT; H. Böhme, KDT; H. Pundt, KDT; Dresden

1. Einleitung

Die Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Elektroenergiesysteme, d. h. an eine stabile und unterbrechungsfreie Versorgung mit Elektroenergie, sind in den letzten Jahren weiter angestiegen. Wesentliche Gründe hierfür sind:

- Durch den verstärkten Einsatz der Leistungselektronik in der Antriebs- und Steuerungstechnik, verbunden mit umfassendem Einsatz der Mikroelektronik zur Automatisierung wird einesteils Elektroenergie eingespart, andererseits jedoch eine unterbrechungsfreie Elektroenergieversorgung vieler Industriebetriebe gefordert.
- Die weitere Elektrifizierung der Bahnen im Rahmen der umfassenden Substitution des Erdöls und die Verlagerung des Personen- und Gütertransportes von der Straße auf die Schiene erfordert eine zuverlässige Bahnstromversorgung.
- Durch die weitere Elektrifizierung der Landwirtschaft, insbesondere der Viehzuchtanlagen kann auch für ländliche Energieversorgungsnetze keine längere Unterbrechung akzeptiert werden.
- Bedingt durch den weiteren Kraftwerksausbau, der weiteren Erhöhung der Blockgrößen und den Einsatz von Transformatoren mit höheren Nennleistungen steigen neben den Betriebsströmen auch die Kurzschlußströme in den Netzen.
- Durch Begrenzung und Einordnung von Investitionen für die Rekonstruktion und den weiteren Ausbau der Netze aller Spannungsebenen werden alle elektrotechnischen Betriebsmittel höher ausgelastet.
- Hinzu kommt eine größere Empfindlichkeit der Betriebsmittel, insbesondere im Grenzleistungsbereich gegen Überbeanspruchungen durch Ströme und Spannungen.

Die immer größer werdende Abhängigkeit aller Verbraucher von der Elektroenergieversorgung hat zur Folge, daß sowohl größere als auch örtlich begrenzte störungsbedingte Ausfälle zu hohen Produktionsausfällen, materiellen Schäden und damit großen Verlusten und zusätzlichen Kosten führen. Selbst für reine Wohngebiete ist nur eine kurzzeitige Unterbrechung der Stromversorgung möglich, wenn man an die Aufzüge und Wasserpumpen in Hochhäusern, Kühlaggregate sowie die Umlaufpumpen für die Heizungssysteme denkt. Deshalb ist die stabile Sicherung der Versorgung der Bevölkerung und der Volkswirtschaft mit Elektroenergie im Rahmen der Energiepolitik der DDR von fundamentaler Bedeutung. Da die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems wesentlich von der elektrotechnischer Betriebsmittel, der Anlagen, der Netzstruktur und des Systembetriebes abhängt, tragen zur Sicherung und Erhöhung der Zuverlässigkeit viele Faktoren bei. Es soll in diesem Zusammenhang auch auf die relevanten Begriffe, wie Sicherheit, Qualität, Lebensdauer, Verfügbarkeit und Verläßlichkeit sowie auf die damit verbundenen Probleme eines einzukalkulierenden Risikos hingewiesen werden.

Im folgenden soll an Beispielen der Grundlagenforschung an den Wissenschaftsbereichen Hochspannungstechnik und Elektroenergietechnik der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden auf einige Aspekte eingegangen werden.

Prof. Dr. sc. techn. *Helmut Böhme*, WB Hochspannungstechnik; Prof. Dr.-Ing. *Helmut Ambrosch* und Prof. Dr.-Ing. habil. *Hans Pundt*, WB Elektroenergietechnik; Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

[1)] Übersichtsvortrag zur 10. Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

2. Probleme der Grundlagenforschung für die Gestaltung miniaturisierter Geräte

Fortschritte konnten in den letzten Jahren durch den Einsatz neuer Isolierstoffe, z. B. SF_6, Vakuum und Epoxidharz für Schaltgeräte und -anlagen sowie Polyäthylen für Kabel, erzielt werden. Die Miniaturisierung von Geräten wirft aber eine Reihe voneinander abhängiger Probleme auf, deren Lösung letztlich die erforderliche Zuverlässigkeit im Betrieb gewährleistet:

Der Einsatz von elektrisch festen Isolierstoffen (SF_6, Epoxidharz, Polyäthylen) erfolgt nahezu ausnahmslos im elektrisch schwach inhomogenen Feld. Abhängig von elektrischen Beanspruchungen, mechanischen Beanspruchungen und der Temperatur der Isolierung sind elektrische, thermomechanische und thermische Alterungsprozesse zu beachten. Die möglichen geringen Abstände zwischen den Leitern eines Drehstromsystems und der geerdeten Hülle erfordern, bei grundsätzlichen Untersuchungen und bei der Dimensionierung von Mehrelektrodensystemen auszugehen. Durch die Miniaturisierung entfällt mehr und mehr die konstruktive Trennung von Querisolierung (zur Erde und zwischen Leitern) und Längsisolierung (Trenner, ausgeschaltete Schalter). Die strombedingten Wirkungen verursachen erschwerte Bedingungen für eine zuverlässige Isolierung. Betriebs- und Kurzschlußstrom schaffen erhöhte Temperaturen, die die thermische Alterung beschleunigen und/oder mechanische Spannungen in festen Isolierungen erzeugen können. Die mechanisch-dynamischen Beanspruchungen auf Leiter (Elektrode der Isolierung) und Isolierung (als mechanisches Stützelement) bei Kurzschlußstrombelastung sind bei miniaturisierten Geräten höher. Zunehmend interessiert, wie sich kleinräumige — und in der Regel gekapselte — Geräte bei inneren Störlichtbögen hinsichtlich Gefährdung von Bedienungspersonal und vor allem hinsichtlich der raschen Wiedereinschalt-Bereitschaft (Verfügbarkeit) verhalten. Die Methoden der Grundlagenforschung müssen diesen o. a. Aufgaben gerecht werden:

Die Berechnung des elektrischen Feldes hat für kleinräumige Geräte mit schwach inhomogenem Feld (im Gegensatz zu Anordnungen mit stark inhomogenem Feld) erheblich an Bedeutung gewonnen. Dabei rückt die Optimierungsaufgabe, ein Mehrelektrodensystem hinsichtlich Lage und Form der Elektroden bei vorgegebener Höchstfeldstärke zu entwerfen, immer mehr in den Vordergrund. Die Vielzahl der Parameter, die sowohl bei Berechnungen als auch Experimenten an Grundmodellen für miniaturisierte Geräte zu berücksichtigen sind, erfordert, Methoden der statistischen Versuchsplanung anzuwenden [1] [2].

Um aus Berechnungen der elektrischen Feldgröße auf Einsatz- oder Durchschlagspannungen schließen zu können, müssen statistisch gesicherte Kennwerte für die Festigkeit der Stoffe bzw. das Stehvermögen von Geräten bekannt und handhabbar sein. Dabei spielt die Statistik zur Auswertung und Verwertung von Versuchsdaten eine große Rolle [3].

3. Feststoffisolierungen

Im Mittelpunkt der Forschung zur Zuverlässigkeit derartiger Isolierungen steht das Alterungsverhalten. Die Lebensdauer der Isolierung von rotierenden elektrischen Maschinen (Bild 1) wird von der Feuchtigkeit beeinflußt [4].

Für die Epoxidharz-Isolierung von Mittelspannungsschaltanlagen wurde festgestellt, daß betriebs- und kurzschlußstrombedingte Übertemperaturen und thermo-mechanische Spannungen wohl den Erwartungswert von Durchschlagzeiten verringern, weniger die technisch bedeutungsvollen niedrigsten Durchschlagzeiten (Bild 2) [5]. Für Polyäthylenkabel-Isolierungen wurde gefunden, daß die Kanaleinsatzzeit für die Lebensdauer maßgebend ist (Bild 3) [6] [7]. Davon ausgehend wurde — im Rahmen eines Teilentladungsmeßsystems — ein Kabelfehler-Ortungsgerät entwickelt [8].

4. SF_6-Isolierungen

Für die Dimensionierung von schwach inhomogenen SF_6-Isolierungen sind nach grundsätzlichen Untersuchungen [9] weiterhin Fragen zum partikelgezündeten Durchschlag [10], zum Durchschlagzeitverhalten und zur Auswirkung der statistisch relativ stark streuenden Grenzspannungen (vor allem bei höherem Gasdruck) zu klären.

Das Durchschlag-Zeit-Verhalten von SF_6-Isolierungen interessiert vor allem für den Überspannungsschutz von Anlagen im Zeitbereich $< 1\,\mu s$ [11]. Mit Hilfe eines Volumen-Zeit-Modells sind die statistischen Streuzeiten und damit die U_d-t_d-Kennlinienbänder berechenbar (Bild 4).

Die Verteilungsfunktion der Durchschlagspannung von ausgedehn-

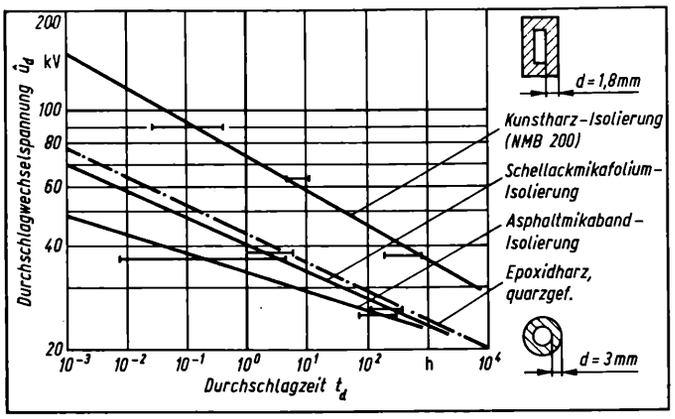
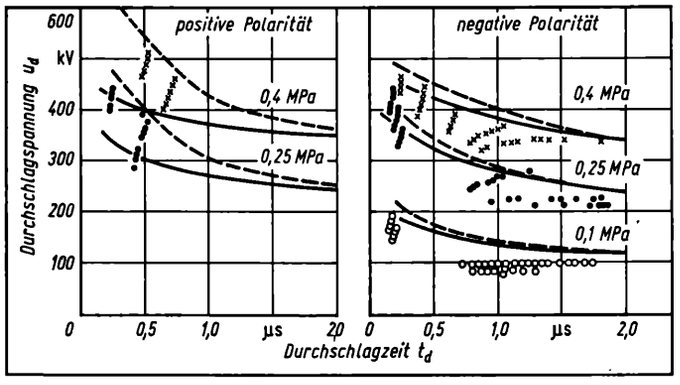
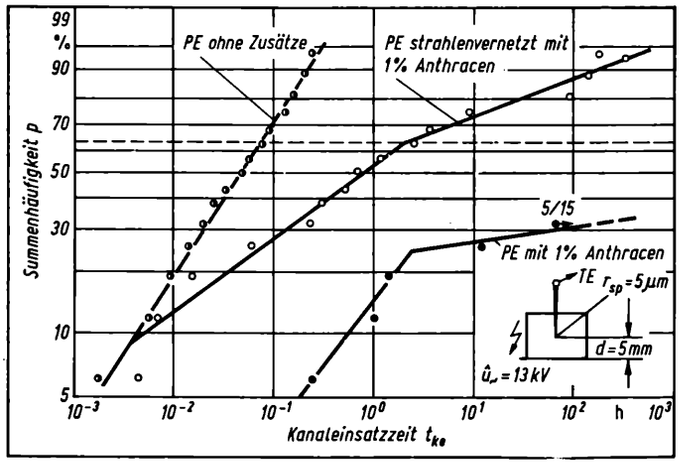


Bild 1. Elektrische Lebensdauer von Maschinenisolierungen



3



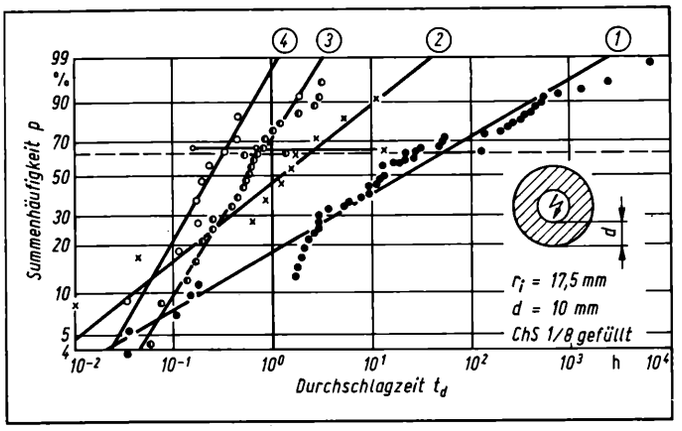


Bild 2. Einfluß der Strombelastung auf die Durchschlagzeiten von Stromschienenmodellen

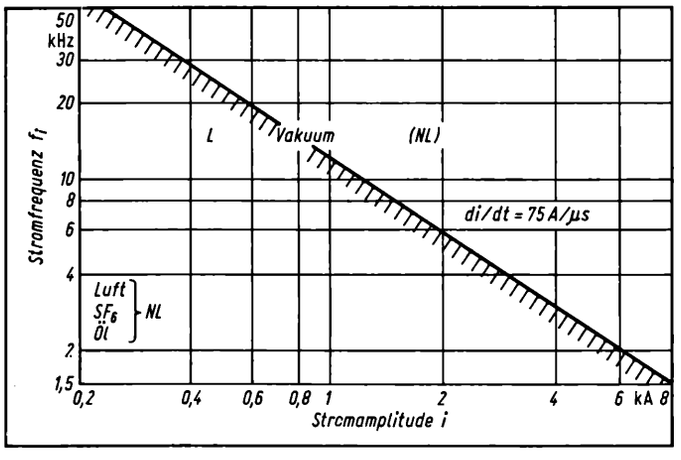
1	I = 0 A		ϑ = 20 °C
2	I = 860 A	ϑ_i = 50 °C	ϑ_a = 45 °C
3	I = 1200 A	ϑ_i = 180 °C	ϑ_a = 68 °C
4	I = 1350 A	ϑ_i = 100 °C	ϑ_a = 85 °C

Bild 3. Kanaleinsatzzeiten von Polyäthylen (PE); Einfluß von Spannungsstabilisatoren

◀ **Bild 4.** u_d-t_d-Kennlinien schwach inhomogener SF_6-Isolierungen Koaxiale Zylinder r_i = 15 mm; r_a = 20 mm; l = 120 mm
——— 2 % Kennlinie (berechnet); – – – 98 % Kennlinie (berechnet)
Meßwerte o 0,10 MPa; ● 0,25 MPa; × 0,40 MPa

Bild 5. Bereiche für Löschen (L) und Nichtlöschen (NL) eines Lichtbogens nach Durchschlag einer Vakuum-Schaltkammer, abhängig von Amplitude und Frequenz des vorher geflossenen Stromes

5



ten SF_6-Isolierungen ist bestimmbar, wenn die Form der Elektroden, deren flächenhafte Ausdehnung und deren Rauheit berücksichtigt werden [12].

5. Längsisolierung

Für Vakuum-Schalter im ausgeschalteten Zustand ist wegen ihrer ständigen Löschbereitschaft zu erwarten, daß nach einem eventuellen Durchschlag mit einer Löschung des Durchschlaglichtbogens im nächsten Stromnulldurchgang zu rechnen ist. Das tritt auch tatsächlich auf (Bild 5), wobei die Löschung nicht erst im nächsten 50-Hz-Nulldurchgang, sondern bereits unmittelbar nach dem Durchschlag in einem von hochfrequenten Ausgleichsvorgängen verursachten Nulldurchgang auftreten kann. Deshalb ist es möglich, daß trotz eines Durchschlags keine Netzstörung entsteht [13].

6. Einfluß der Strombelastung auf die Dimensionierung von Geräten

Die strombedingt höchste Erwärmung der Isolierung liegt in der Regel im Bereich höchster elektrischer Feldstärke. Wegen der meist temperaturabhängigen elektrischen Festigkeit (vor allem bei Gasisolierungen) beeinflußt die Strombelastung die Dimensionierung. Eine optimale Gestaltung (z. B. einer koaxialen Anordnung hinsichtlich übertragbarer Leistung und/oder Wirkungsgrad und/oder Materialeinsatz) weicht von der allein nach elektrischen Gesichtspunkten dimensionierten Anordnung in Richtung höheren Homogenitätsgrades ab [14].

Die mechanisch-dynamischen Beanspruchungen von Strombahn und Isolierung können mit Hilfe eines schwingungsfähigen Mehrmassemodells für die Gesamtanordnung beschrieben werden. Um das Modell praktisch zu nutzen, ist die (erste) Eigenfrequenz des schwingungsfähigen Systems zu ermitteln [15] [16].

Um Störlichtbögen zu beherrschen, ist es nötig, die Eigenschaften des freien Hochstromlichtbogens zu ermitteln [17], den Zündvorgang vom Erdschlußlichtbogen bis zum dreipoligen Kurzschluß-Lichtbogen zu untersuchen [18] und die Druckentwicklung in gekapselten Geräten zu studieren.

7. Grundlagenforschung zur Schaltanlagengestaltung

Die Gestaltung von Hochspannungsschaltanlagen muß bezüglich der Grundschaltung und des konstruktiven Aufbaus unter Beachtung volkswirtschaftlicher Gesichtspunkte, z. B. Einsatz von Stahl, Beton, Leitermaterial, Grundflächenbeanspruchung, Umweltbeeinflussung [19], systemgerecht sein. Unter systemgerecht wird dabei in verstärktem Maß z. B. die Möglichkeit der Längs- und/oder Quertrennung eines Netzes, also die Bildung mehrerer Knotenpunkte innerhalb einer Schaltanlage verstanden, um neben der Reduzierung der Kurzschlußströme, bei Störungen aller Art nur den Ausfall eines Teiles der Schaltanlage zu erleiden. Unter systemgerecht wird z. B.

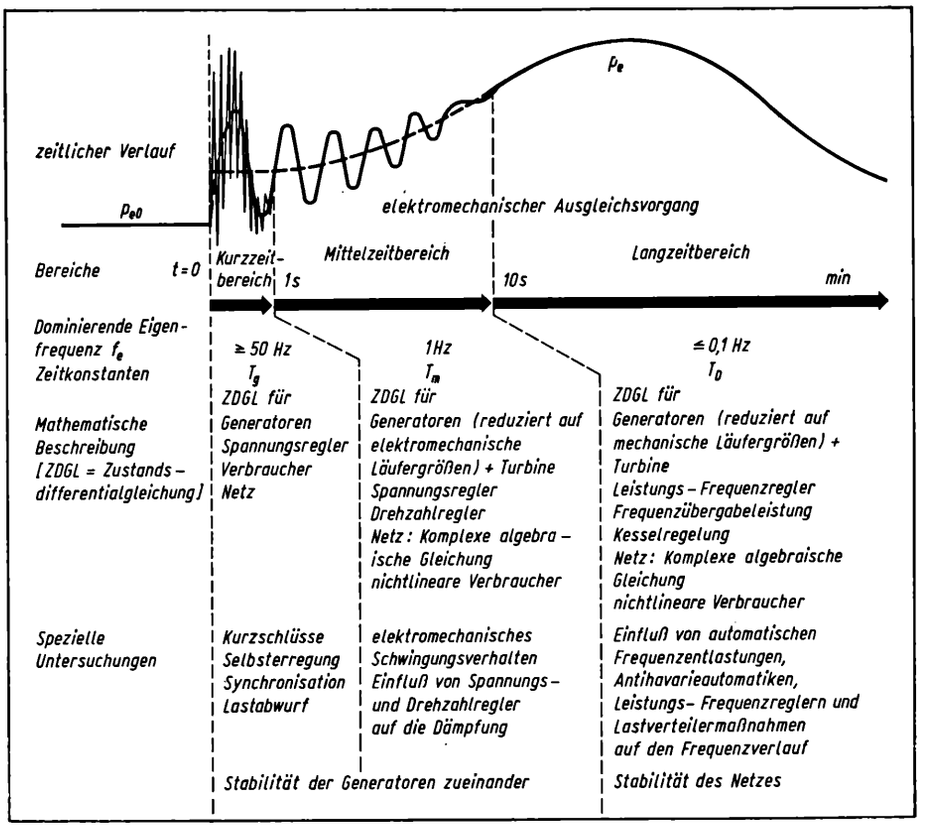


Bild 6. Klassifizierung von Ausgleichsvorgängen in Elektroenergiesystemen — Einfluß der dominierenden Schwingung in Abhängigkeit vom Zeitbereich auf die erforderliche mathematische Beschreibung

auch die Forderung gestellt, daß die Energieabführung von Großkraftwerksblöcken auch bei Nichtverfügbarkeit eines Leistungsschalters oder eines Sammelschienenabschnitts möglich sein muß.

Mit steigenden Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Elektroenergiesystems wachsen auch die Forderungen nach Beherrschung der meteorologischen Umwelteinflüsse, besonders in Freiluftschaltanlagen und an eine Verbesserung der Diagnosetechnik [20]. So sind der Schutz gegen direkten Blitzeinschlag in spannungsführende Teile, gegen die Auswirkung von Blitzeinschlägen in geerdete Anlagenteile in bezug auf mikroelektronische Schutz- und Steuersysteme, die Beherrschung von Fremdschichten aus Schmutz, leitfähigem Nebel und leitfähigen Nebelfrostablagerungen [21] sowie die Verhinderung von Sturmschäden vorrangige Aufgaben. Zielstellung ist dabei zunächst die Abwendung der Primärereignisse oder, wenn technisch nicht möglich oder ökonomisch nicht vertretbar, die Verhinderung einer unkontrollierten Eskalation der Auswirkungen [22]. Unter Beachtung des engen Zusammenhanges zwischen Betrieb und Anlagentechnik des Elektroenergiesystems wurden unter Mitarbeit des WB Elektroenergietechnik die Netzschutzkonzeption für das 380/220-kV-Netz der DDR und die Blitzschutzkonzeption für 110-, 220- und 380-kV-Schaltanlagen [23] weiterentwickelt. Auf dem Gebiet der Diagnosetechnik wurden in enger Zusammenarbeit mit der IH Zittau (Diplomandenaustausch, gemeinsame Nutzung der Labortechnik) die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des schwingungstechnischen Nachweises von Teilentladungen in SF_6-isolierten Schaltanlagen weitergeführt und in ersten Anwendungsfällen praktisch erprobt. Die Möglichkeiten und Grenzen der entwickelten schwingungstechnischen TE-Meßtechnik in bezug auf Feststellung, Ortung und Fehleridentifikation wurden formuliert und daraus Einsatzbereiche abgeleitet [24] [25] [26].

Für die bessere bedienungstechnische Beherrschung großer Netzknotenpunkte, die Anpassung des Kurzschlußschutzes an die verschiedenen Schaltzustände und Netzbetriebsbedingungen in bezug auf Betriebsspannung, Betriebsfrequenz, die Verbesserung der Betriebsdatenspeicherung und -verarbeitung, z. B. in bezug auf Störungsdatenerfassung, sowie mögliche Materialeinsparungen durch den Einsatz von Lichtleitern zwischen den Schaltfeldern und der Warte gewinnt der Einsatz der Mikrorechentechnik auch in Schaltanlagen zunehmend an Bedeutung [27]. In enger Zusammenarbeit mit dem VEB Starkstromanlagenbau „Otto Buchwitz" Dresden wurde das von diesem Betrieb entwickelte Schaltanlageninformationssystem SIS/HS [28] im Labor des Bereiches Elektroenergietechnik aufgebaut und die dazugehörige Software um bestimmte Programmbausteine erweitert.

8. Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen

Selbst bei hoher Zuverlässigkeit aller elektrotechnische Betriebsmittel und Anlagen muß festgestellt werden, daß eine Sicherheit des Betriebes von Elektroenergiesystemen gegen alle Ereignisse nicht möglich ist, d. h., man kann keine absolute Sicherheit erreichen, sondern muß ein gewisses Risiko immer tragen. So muß auf alle Fälle der einfache Störungsfall (Ausfall eines Systemelementes, z. B. Generator, Transformator oder Leitung) beherrscht werden, während die Beherrschung des gleichzeitigen Ausfalles zweier Elemente anzustreben ist. Auf keinen Fall darf das System durch weitere Ausfälle in einen Notzustand (emergency state) geraten, sondern höchstens in einen Alarmzustand (alert state). Es ist deshalb erforderlich, im Echtzeitbetrieb durch eine Bewertung der Betriebssicherheit den Zustand des Elektroenergiesystems zu erkennen bzw. es durch eine Erhöhung der Sicherheit von einem Alarmzustand in einen sicheren Zustand zu bringen oder von einem Notzustand über einen Alarmzustand in einen sicheren Zustand. Diese Aufgaben haben die Regelzentren zu erfüllen [29] [30]. Bewertungsmethoden sind dabei meist nur eine komplexe Lastflußberechnung im off-line-Betrieb, mit der zwar die Folgen eines Ausfalls auf Wirk- und Blindleistungsverteilung bestimmt und damit bevorstehende Spannungsinstabilitäten erkannt werden, aber nicht das Risiko des Verlustes der Stabilität.

Die Betriebsführung zeigt jedoch, daß sich abnormale Systemzustände vielfach sehr rasch und ohne Warnung einstellen und der Dispatcher, z. B. bei Ausfall größerer Kraftwerksblöcke, Trafobänke oder wichtiger Übertragungsleitungen, nicht immer in der Lage ist, eine Störungsausweitung zu verhindern, die gegebenenfalls zu einem Teilnetzzusammenbruch führen kann. Es werden deshalb vielfach automatische Frequenzentlastungen (AFE) und Antihavarieautomatiken (AHA) in größeren Elektroenergiesystemen eingesetzt, die bereits innerhalb weniger Sekunden ansprechen müssen, d. h. während der von den Störungen ausgelösten Ausgleichsvorgänge. Es ist deshalb deren Vorausberechnung im Planungsstadium oder die Berechnung im on-line-Betrieb von großer Bedeutung.

9. Berechnung von Ausgleichsvorgängen

Als Ergebnis der langfristigen Grundlagenforschung am WB Elektroenergietechnik entstanden 3 anwendungsreife Digitalprogrammpakete, die auf der einheitlichen mathematischen Basis der Zustandsdarstellung beruhen, durch eine systematische Modellreduzierung den dominierenden Eigenfrequenzen f_e im zu berechnenden Größenverlauf und Zeitbereich angepaßt sind und damit ohne Einbuße an

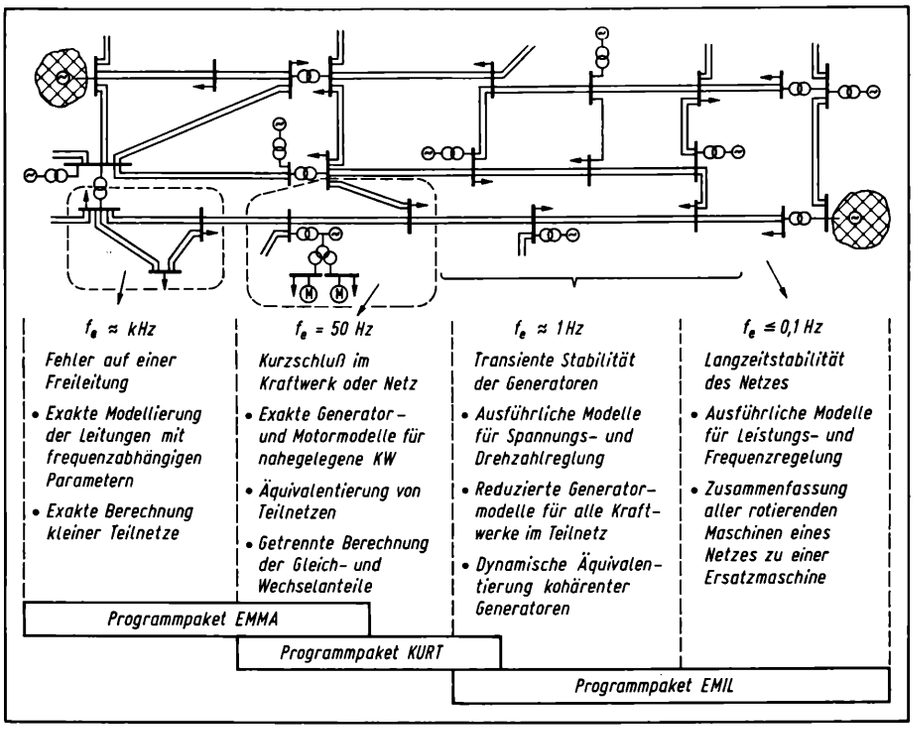


Bild 7. Optimale Modellbildung zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen auf der Grundlage der physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Schwingungsverhaltens

Genauigkeit, aber mit geringem Aufwand die zeitlichen Verläufe aller interessierenden Spannungen, Ströme, Leistungen, Drehmomente und Lastwinkel sowie davon abgeleiteter Größen effektiv zu berechnen gestatten [31] [32]. Im Bild 6 ist als Beispiel hierfür der prinzipielle Verlauf der abgegebenen elektrischen Leistung von Generatoren gezeichnet, der in 3 charakteristische Zeitbereiche unterteilt werden kann und den Einfluß der dominierenden Schwingung auf die erforderliche mathematische Beschreibung deutlich macht, während im Bild 7 die optimale Modellbildung auf der Grundlage der physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Schwingungsverhaltens veranschaulicht werden soll. Der Kurzzeitbereich ist im Bild 7 noch einmal unterteilt, worauf später noch eingegangen werden soll. Für den Mittelzeitbereich dominiert eine Frequenz von etwa 1 Hz, die aus der gegenseitigen Läuferbewegung der Synchronmaschinen resultiert. In diesem Zeitbereich wird die transiente Stabilität entschieden. Die langsam wirkenden Regeleinrichtungen der Turbinen bedingen die relativ niedrige Frequenz von etwa 0,1 Hz im Langzeitbereich. Mittel- und Langzeitbereich bilden die elektromechanische Phase des Ausgleichsvorganges [33].

10. Stabilitätsberechnungen

Um alle im Bild 7 angegebenen Modelle und Programmpakete testen und vergleichen zu können, wurde ein im Bild 8 angegebenes Testnetz zugrunde gelegt. So zeigt Bild 9 sowohl den Einfluß der gegenseitigen Läuferbewegung im Mittelzeitbereich als auch die Reaktion der Turbinenregler auf die mechanische Leistung p_m der Maschinensätze im Braunkohlenkraftwerk (BKW) und im Pumpspeicherwerk (PSW) auf den Anstieg der Netzfrequenz f_N als Folge eines Lastabwurfes von (200 + j 100) MVA im Knotenpunkt Last. Diese Langzeitstabilitätsuntersuchung wurde mit dem Programmpaket EMIL durchgeführt, wobei die im Bild 7 angegebene mögliche Zusammenfassung aller Kraftwerke zu einer Ersatzmaschine noch nicht vorgenommen wurde. Mit derartigen Berechnungen lassen sich wichtige Erkenntnisse für die Einstellung der AFE-Relais gewinnen. Die Betriebszuverlässigkeit des Elektroenergiesystems wird auch wesentlich erhöht, wenn Kraftwerksblöcke bei Nahfehlern nicht völlig, sondern nur auf Eigenbedarf abgefahren werden. Entsprechende Berechnungen zeigen, daß dann z. B. trotz Polschlupfes die transiente Stabilität durch die automatische Schnellentlastung gewahrt bleibt und bereits nach einer Haltezeit von 4 s die Leistungs- und Lastwinkelpendelungen soweit abgeklungen sind, daß eine Resynchronisation und ein Wiederhochfahren erfolgen können.

Nachdem in das Programmpaket KURT, das ursprünglich speziell zur Berechnung der Kurzschlußstromverläufe in Netzen entwickelt wurde, das Verfahren der getrennten Berechnung der Gleich- und Wechselanteile [40] eingegliedert wurde, bietet sich die Kopplung der Programmpakete KURT und EMIL als effektive Lösung an, um vom Kurzzeit- bis in den Langzeitbereich die Vorgänge exakt berechnen zu können. Die Stabilitäts- und Kurzschlußstromberechnungen können weitgehend einheitlich durchgeführt werden.

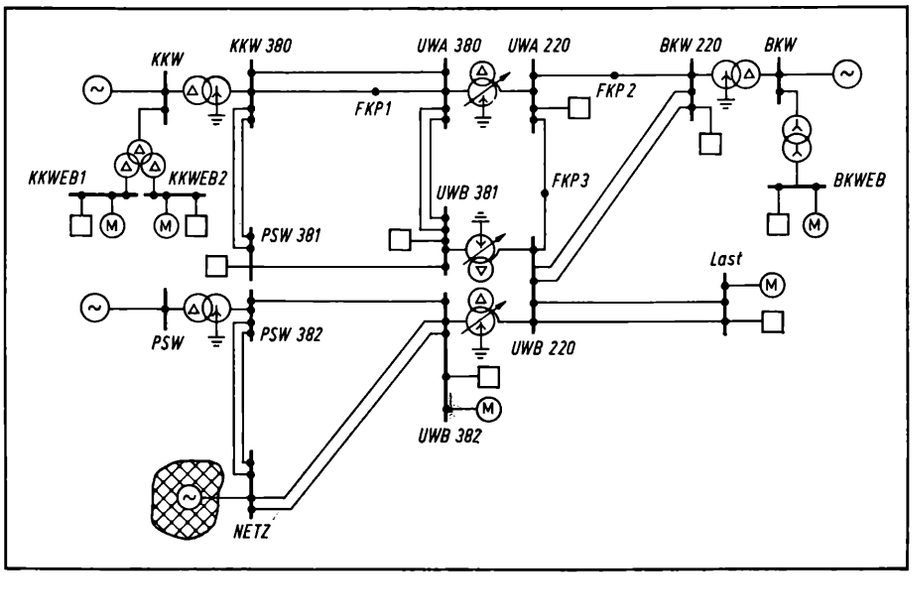


Bild 8. Testnetz für die Berechnung von elektromagnetom echanischen Ausgleichsvorgängen

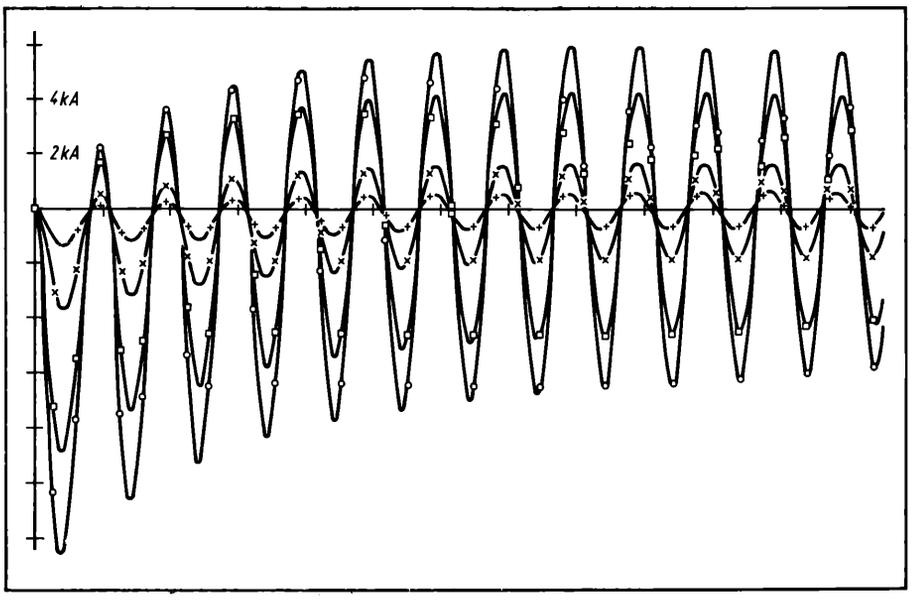


Bild 10. Kurzschlußstromverläufe bei dreipoligem Kurzschluß im FKP 1 des Testnetzes
Kurzschlußort FKP 1 – dargestellt sind die Leitungsströme von *KKW* 380 nach *UWA* 380 +
KKW 380 nach FKP 1 ×
UWA 380 nach FKP 1 □ und
Summen-Kurzschlußstrom o

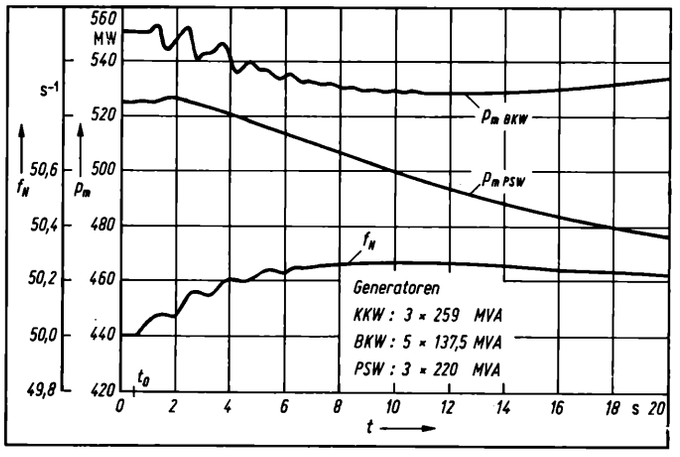


Bild 9. Verlauf der mechanischen Leistung p_m und der Netzfrequenz f_N im Testnetz bei Abwurf von 200 + j 100/MVA Last im Knotenpunkt LAST

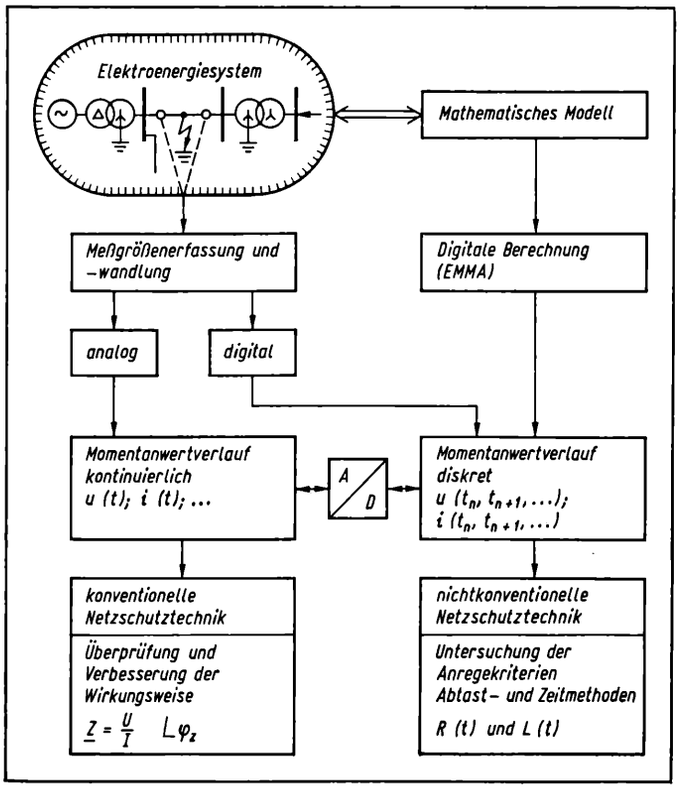


Bild 11. Nutzung berechneter Momentanwertverläufe bei der Entwicklung des Relaisschutzes

11. Berechnung von Kurzschlußstromverläufen

Das Programmpaket KURT wird jedoch z. Z. vorrangig zur exakten Berechnung der Kurzschlußstromverläufe angewandt [35] [36]. Im Bild 10 sind diese für einen dreipoligen Kurzschluß auf der 380-kV-Leitung vom KKW zum UWA (FKP 1) im Testnetz nach Bild 8 zu sehen. Mit derartigen Untersuchungen in Verbundnetzen kann eingeschätzt werden, ob die nach Standard (TGL 200-0604, IEC-TC 73, DIN 57 102) erhaltenen Werte tatsächlich erreicht werden, was insbesondere für die Beurteilung einer notwendigen Rekonstruktion von Schaltanlagen, in denen die zulässigen Kurzschlußgrößen überschritten werden (Kurzschlußfestmachung), von großer Bedeutung ist. Damit wird eine sichere Einschätzung der Zuverlässigkeit der Schaltanlage möglich. Bisherige Berechnungen zeigten, daß insbesondere der Stoßkurzschlußstrom im Übertragungsnetz mit den Standards zu hoch berechnet wird [37]. In Industrie- und Kraftwerkseigenbedarfsnetzen dienen die Berechnungen mit dem Programmpaket KURT besonders zur exakten Ermittlung der Anteile großer Asynchron- und Synchronmotoren am Kurzschlußstrom, die nach Standards nur angenähert berücksichtigt werden können. Es können jedoch auch interessierende Strom-Spannungsverhältnisse und Drehmomententwicklungen beim Hochlauf, der automatischen Umschaltung und dem Wiederhochlauf von Motoren berechnet werden. Schließlich wird mit der getrennten Berechnung der Gleich- und Wechselanteile auch eine effektive Ermittlung der Kurzschlußstromverläufe bei unsymmetrischen Fehlern in großen Verbundnetzen möglich, was von besonderem Interesse ist, da die Störungsstatistiken sowohl in der DDR [38] [39] als auch in anderen Ländern eindeutig als dominierenden Fehler den einpoligen Erdfehler ausweisen, wobei selbst bei 380-kV-Freileitungen mit V-Ketten der Kotstrahl von Greifvögeln in der Morgendämmerung als eine der dominierenden Ursachen festgestellt wurde [40]. Außerdem sind 2polige Kurzschlüsse, insbesondere beim Seiltanzen, ein häufiger unsymmetrischer Fehlerfall in den letzten Jahren gewesen [40], während 3polige Kurzschlüsse nur außerordentlich selten vorkommen.

12. Berechnung elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von berechneten Momentanwertverläufen ergibt sich bei der Entwicklung des Relaisschutzes, wie Bild 11 zeigt. Praktische Netzversuche (Schalten von Fehlern im Originalnetz) sind nur noch in den seltensten Fällen möglich und wenn sie durchgeführt werden, kann nur eine begrenzte Anzahl von Fehlern eingeleitet werden. Mit dem Programmpaket EMMA können dagegen für beliebige symmetrische und unsymmetrische Fehler und Folgefehler an beliebigen Stellen in einem Elektroenergiesystem die zeitlichen Verläufe der Ströme und Spannungen im gesamten Netz in allen Leitungen berechnet und unmittelbar über Magnetband oder Lochstreifen als Eingangsgrößen für den mikroelektronischen Schutz bereitgestellt werden. Damit können die verschiedenen Abtast- und Zeitmethoden [41] [42] gründlich untersucht werden, denn es können problemlos und mit geringem Rechenaufwand viele Varianten (Änderung der Phasenlage bei Fehlereintritt, der Fehlerwiderstände, der Fehlerfolge) innerhalb des hierfür interessierenden Zeitbereichs von maximal 50 ms berechnet werden.

Fortsetzung auf Seite 154

PERSÖNLICHES

Nachruf

Zum Ableben von

Prof. Dr.-Ing. e.h. Dipl.-Ing.

Josef Stanek

Prof. Dr.-Ing.
e. h. Dipl.-Ing.
Josef Stanek
6. 10. 1901 – 3. 2. 1984

Am 3. Februar 1984 verstarb im Alter von 82 Jahren Prof. Dr.-Ing. e.h. Dipl.-Ing. *Josef Stanek*.

Er war Ehrenmitglied der Kammer der Technik, langjähriger Vizepräsident, Ehrenvorsitzender des Fachverbandes Elektrotechnik und Ehrenmitglied des Präsidiums unserer sozialistischen Ingenieurorganisation.

Mit Professor *Stanek* verliert die Kammer der Technik eines ihrer hervorragendsten Mitglieder, das sich als langjähriger Funktionär unter anderem als Gründer und Vorsitzender des Fachverbandes Elektrotechnik der KDT große und bleibende Verdienste für den Aufbau und die Leitung unserer Organisation erworben hat. Mit Fachbeiträgen und stets konstruktiven Diskussionsbeiträgen im Redaktionsbeirat der Fachzeitschrift ELEKTRIE, dessen Mitglied er seit 1951 gewesen ist, trug er mit zum hohen Ansehen unserer Zeitschrift bei. Prof. *Stanek* gehörte 30 Jahre dem Präsidium des Nationalrates der Nationalen Front der DDR an. In ihm verliert die sozialistische Volksbewegung einen aufrechten und politisch engagierten Mitstreiter.

Verdienste erwarb sich Professor *Stanek* als Vorsitzender des Bezirksausschusses der Nationalen Front Berlin beim Aufbau und bei der Gestaltung unserer Hauptstadt.

Sein wissenschaftliches und patriotisches Wirken wurde mit der Verleihung des Nationalpreises, des Ehrentitels „Held der Arbeit", des Vaterländischen Verdienstordens und anderer hoher staatlicher und gesellschaftlicher Auszeichnungen gewürdigt. Er war Ehrendoktor der Technischen Universität Dresden. Das Präsidium der Kammer der Technik ehrte seine Verdienste mit der Verleihung der Goldenen Ehrennadel und der höchsten Auszeichnung der Kammer der Technik, der Ernst-Abbé-Medaille.

Wir werden Professor *Stanek* stets ein ehrendes Andenken bewahren.

Präsidium
der Kammer der Technik
Redaktionsbeirat und
Redaktion der
Fachzeitschrift ELEKTRIE

Fortsetzung von Seite 153

Wie aus der Übersicht in Bild 7 hervorgeht, ist hierbei zusätzlich die Frequenzabhängigkeit der Freileitungsparameter (R und L) zu berücksichtigen, weil sonst die durch Ent- und Aufladung der Leitungskapazitäten bedingten höherfrequenten freien Schwingungen, insbesondere hinsichtlich der Dämpfung, nicht richtig berechnet werden [43]. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Entwurfszuverlässigkeit neuer Relaisschutzeinrichtungen geleistet.

Literatur

[1] *Speck, J.:* Ein Verfahren zur Optimierung von Hochspannungselektroden auf der Grundlage der numerischen Feldberechnung. 10. Wiss. Konferenz, Sektion Elektrotechnik, TU Dresden

[2] *Digmayer, M.:* Beitrag zur Untersuchung und Gestaltung schwach inhomogener Luftisolierungen für Mittelspannung. Diss. A, TU Dresden 1984 (eingereicht)

[3] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechnik. Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[4] *Eberhardt, M.:* Ein Beitrag zur Verbesserung der Qualität der Isolierungen rotierender elektrischer Maschinen. Diss. B, TU Dresden 1981

[5] *Kobisch, V.:* Zur elektrischen Alterung von Epoxidharzisolierungen unter besonderer Berücksichtigung der durch Stromfluß entstehenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen. Diss. A, TU Dresden 1982

[6] *Küllig, P.:* Zum Einfluß von Fehlstellen auf die elektrische Lebensdauer von extrudierten Polyäthylen-Isolierungen bei Wechselspannungsbeanspruchung. Diss. A, TU Dresden 1982

[7] *Petzold, F.:* Zum Einfluß von Zusätzen auf das elektrische Langzeitverhalten von Polyäthylen-Isolierungen bei Wechselspannungsbelastung. Diss. A, TU Dresden 1984 (eingereicht)

[8] *Lemke, E.:* Ein neues Verfahren zur Messung von Teilentladungen an langen Hochspannungskabeln. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 358 – 360

[9] *Mosch, W.; Hauschild, W.:* Hochspannungsisolierungen mit Schwefelhexafluorid. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

[10] *El Dessouky, S. S.:* Beitrag zum partikelgezündeten SF_6-Durchschlag bei Mischspannung. Diss. A, TU Dresden 1982

[11] *Schwarz, J.:* Über die Zeitabhängigkeit des Blitzspannungsdurchschlages schwach inhomogener SF_6-Isolierungen. Diss. A, TU Dresden 1983

[12] *Exner, W.:* Berechnungsverfahren für großflächige Elektroden auf der Grundlage des Vergrößerungsgesetzes. Diss. A, TU Dresden 1984 (eingereicht)

[13] *Fink, H.:* Löschung von Lichtbögen nach Durchschlägen in Vakuum-Schaltkammern. Diss. A., TU Dresden 1982

[14] *Löbl, H.; Böhme, H.:* Zur Optimierung koaxialer, druckgasisolierter Strombahnen hinsichtlich der übertragbaren Leistung und der Übertragungsverluste. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 11, S. 585 – 590

[15] *Warttmann, B.:* Beitrag zum dynamischen Verhalten von Stützern in Schaltanlagen bis 36 kV bei Kurzschlußstrombelastung. Diss. A, TU Dresden 1981

[16] *Stauch, G.; Böhme, H.:* Schwingungsverhalten von Stromleitanordnungen in Mittelspannungsschaltanlagen bei Kurzschluß – Berechnung der Grundfrequenz. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 12, S. 651 – 655

[17] *Klengel, H.:* Über die Möglichkeiten der Stabilisierung des langen freien Hochleistungslichtbogens in Luft. Diss. A, TU Dresden 1981

[18] *Welich, D.:* Ein Beitrag zur Ausbildung mehrpoliger Störlichtbögen und zur Innendruckentwicklung in gekapselten luftisolierten Mittelspannungs-Schaltzellen. 10. Wiss. Konferenz, Sektion Elektrotechnik, TU Dresden 1984

[19] *Ahrendt, H.; Ambrosch, H.:* Ästhetische Beeinflussung der Umwelt durch Hochspannungs-Freiluftschaltanlagen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 7, S. 341 – 344

[20] *Elmendorff, J.:* Diagnoseverfahren in Elektroenergieanlagen. Diplomarbeit TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, BE (1981) Nr. F 634

[21] *Ambrosch, H.:* Winterbetrieb in Freiluft-Hochspannungsschaltanlagen. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 2, S. 61 – 65

[22] *Ambrosch, H.:* Aktuelle Probleme beim Schutz von gekapselten Mittel- und Hochspannungsschaltanlagen gegen die Auswirkungen von Störlichtbögen. 28. IWK der TH Ilmenau (1983) 1, S. 147 – 150

[23] *Ambrosch, H.:* Blitzschutz von Hochspannungsschaltanlagen. Bericht der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, BE (1983) Nr. 600

[24] *Ambrosch, H.; Otto, F.:* Schwingungstechnische Messung und Ortung von Teilentladungen und Anwendung bei der Vor-Ort-Prüfung von SF_6-isolierten Schaltanlagen. 28. IWK der TH Ilmenau (1983) 2, S. 151 – 154

[25] *Schwarz, J.; Petzold, K.; Otto, F.; Neumann, H.:* Measurement and Detection of Partial Discharges at Components of SF_6 insulated Switchgear. CIGRE-SC 23. 83 (WG-03) 2. IWD

[26] *Otto, F.:* Beitrag zur Bewertung und Erhöhung der Zuverlässigkeit von SF_6-isolierten Anlagen durch Diagnose des Isolationszustandes auf schwingungstechnischer Basis. Diss. A, IH Zittau (1983)

[27] *Schönfeld, R.;* u.a.: Anwendung der Mikroelektronik in der Elektrotechnik. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 137—143

[28] *Dreßler, D.:* Mikrorechnergestützte Prozeßführung in Umspannwerken – Das Schaltanlageninformationssystem Hochspannung. Wiss. techn. Inf. des KAAB und des KEA 19 (1983) 4, S. 176 – 180

[29] Tagungsband: CIGRE/IFAC-Symposium „Control Applications for Power System Security" Florenz 1983

[30] *Pundt, H.:* Tagungsbericht über das CIGRE/IFAC-Symposium 1983 in Florenz. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 12, S. 663

[31] *Oswald, B.:* Zustandsdarstellung des Elektroenergiesystems zur Berechnung von elektromagnetomechanischen Ausgleichsvorgängen. Diss. B, TU Dresden 1981

[32] *Pundt, H.:* Berechnung von Ausgleichsvorgängen in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 9, S. 451 – 452

[33] *Erlich, I.:* Modellierung des Elektroenergiesystems in der Zustandsform zur Simulation elektromechanischer Ausgleichsvorgänge. Diss. A, Dresden 1983

[34] *Oswald, B.:* Effektive Berechnung der Kurzschlußstromverläufe in großen Elektroenergiesystemen durch getrennte Berechnung der Gleich- und Wechselanteile. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 9, S. 455 – 457

[35] *Oswald, B.; Fuchs, R.:* Zur Berechnung des dreipoligen Kurzschlußstromverlaufs im Elektroenergiesystem. Wiss. Zeitschr. der TU Dresden 32 (1983) 3, S. 69 – 77

[36] *Fuchs, R.:* Eine Methode zur Ersatznetzbildung bei der Berechnung des Kurzschlußstromverlaufes in großen Elektroenergiesystemen. Wiss. Zeitschr. der TU Dresden 33 (1984) 2

[37] *Oswald, B.:* Zur Berechnung des Stoßkurzschlußstromes nach TGL 200-0604. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 12, S. 669 – 651

[38] *Huster, H.; Henkel, G.:* Erfassung, Auswertung und Nutzung von Betriebserfahrungen mit Relaisschutzeinrichtungen des Übertragungsnetzes. das verbundnetz, Berlin 37 (1983) S. 926 – 928

[39] *Pundt, H.; Pietzsch, H.:* Auswertung des Erdschlußgeschehens in den Netzen der DDR. Energietechnik, Leipzig 22 (1972) 3, S. 118 – 124

[40] *Preuss, J.:* Dynamische Vorgänge im Netz, Erfahrungen und Bewertung aus Sicht eines EVU. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 33 (1983) 11, S. 871 – 876

[41] *Stimmer, H.:* Analyse von Netzvorgängen mit Mikrorechnern. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 10, S. 547 – 551

[42] *Koglin, H. J.; Lobos, T.:* Distanzschutz mit Mikrorechnern. etz-Archiv 3 (1981) 6, S. 169 – 181

[43] *Siegmund, D.:* Die Modellierung von Übertragungsleitungen durch konzentrierte Parameter für die effektive Analyse von elektromagnetomechanischen Ausgleichsvorgängen in Elektroenergiesystemen. Wiss. Zeitschr. der TU Dresden 33 (1984) 2

EA 5405

FACHTAGUNGEN

4. Internationales Symposium Hochspannungstechnik — Athen 1983

Das 4. Internationale Symposium Hochspannungstechnik (4. ISH) fand vom 5. 9. bis 9. 9. 1983 in Athen statt. Entsprechend der Zielstellung der ISH werden, jeweils in einem anderen Land, neueste Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Hochspannungs-Isoliertechnik und der Hochspannungs-Prüf- und -Meßtechnik vorgestellt. In Abstimmung mit den Gremien der CIGRE, die vor allem erzeugnisorientiert sind, werden auf dem etwa alle 4 Jahre stattfindenden ISH die Probleme vorwiegend aus physikalischer Sicht behandelt. Die eingereichten Beiträge und die Diskussionen zeigen die Anstrengungen, die auf diesem Gebiet in vielen Ländern unternommen wurden. Sie geben Hinweise auf Schwerpunkte der Forschung der letzten Jahre, geben Anregungen für eigene zukünftige Forschungen und gestatten eine Einschätzung des Standes der Technik in der Welt. Vom wissenschaftlichen Komitee wurden insgesamt 264 Beiträge ausgewählt, deren Autoren aus 31 Ländern kamen. Eine besonders große Anzahl von Beiträgen (mehr als jeweils 20) wurden von Japan, Großbritannien, Italien und der BRD eingereicht.

Beiträge von Autoren aus sozialistischen Ländern (insgesamt 25) demonstrierten das hohe Niveau der Forschung in diesen Ländern, wobei die DDR mit 12 Beiträgen (z. T. gemeinsam mit der VR Polen, der Ungarischen VR sowie der ARÄ) eine wichtige Rolle spielte.

Etwa 260 Teilnehmer aus über 30 Ländern (besonders große Teilnehmerzahlen aus Griechenland, Großbritannien, Italien und der BRD) diskutierten die eingereichten Beiträge in 24 Gruppen (z. T. in parallelen Veranstaltungen).

Die Vielzahl der Beiträge, Diskussionsgruppen und Diskussionsbeiträge (insgesamt etwa 400 Diskussionsbeiträge, DDR-Delegation 12) gestattet nur einen summarischen Überblick mit einigen Hinweisen auf Schwerpunkte.

Gruppe 1: Elektrisches Feld

Hauptprobleme sind die Berechnung von räumlichen (3-dimensionalen) elektrischen Feldern, von Feldern mit Grenzflächen und Feldern bei Gleichspannung (mit Raumladungen). Es wurde sehr deutlich, daß die digitale Feldberechnung immer mehr zum Handwerkszeug der Hochspannungs- bzw. Isoliertechniker wird.

Im einzelnen wurden behandelt

11: Berechnungsmethoden (*Nikolopoulos*, Griechenland)

a) Wichtige Isolieranordnungen (11.03)[1])
b) Monte-Carlo-Methode (11.09)
c) Rechenzeiteinsparung beim Ladungsverfahren (11.08; 11.07; 11.13)
d) Flächenladungen (11.06; 11.04)
e) „Finite Elemente" und „Finite Differenzen" (11.10; 11.05; 11.15; 11.14)
f) Zeitlich veränderliche Spannungen (11.11; 11.02)
g) Felder an Isolatoren (11.12; 11.01)

12: Anwendung von Feldberechnungsmethoden (*Steinbigler*, BRD)

a) Konstruktion von Hochspannungs-Ausrüstungen (12.08; 12.09; 12.05; 12.07; 12.04; 12.12)
b) Umspannwerke und Übertragungsleitungen (12.02; 12.10)
c) Hochspannungs-Prüfanordnungen (12.03; 12.01; 12.06)
d) Durchschlagentwicklung in Luft (12.11)

13: Berechnung elektrischer Charakteristiken und elektrischer Elemente (*Singer*, BRD)

a) Elektrisches Feld und Stromdichte in Hochspannungs-Ausrüstungen (13.11; 13.12; 13.03; 13.04)
b) Feldprobleme unter Übertragungsleitungen (13.01; 13.10; 13.06; 13.07)
c) Feldmessungen (13.05; 13.02; 13.08; 13.09)

Gruppe 2: Feststoffe und Flüssigkeiten

Hauptprobleme ergaben sich hinsichtlich der Belastung mit Gleichspannung (insbesondere bei Polaritätswechsel), dem Teilentladungsverhalten im Zusammenhang mit der Alterung und bei komplexen (thermisch, mechanisch, elektrisch) Belastungen.

21: Elektrische Belastung und Verhalten von Feststoffen (*Beyer*, BRD)

Einzeldiskussion der Beiträge (21.01 bis 21.06)

22: Teilentladungen (*Ieda*, Japan)

a) Teilentladungsphänomene (22.01; 22.02; 22.03; 22.07)
b) Probleme im Zusammenhang mit Teilentladungen (22.04; 22.05; 22.06; 22.08; 22.09; 22.11)
c) Andere Meßmethoden (22.10; 22.12)

23: Alterung bei thermischen, mechanischen und komplexen Belastungen (*Kärner*, BRD)

a) Komplexe Belastungen (23.01; 23.02; 23.04; 23.05; 23.11; 23.12; 23.13)
b) Isolationssysteme für rotierende Hochspannungsmaschinen (23.03; 23.06; 23.07)
c) Zinkoxyd, Stabisolatoren aus Kunststoffen, Watertree (23.08; 23.09; 23.10)

24: Flüssigkeiten und Flüssigkeiten kombiniert mit Feststoffen (*Praehauser*, Schweiz)

a) Leitfähigkeit, Verluste, Vorentladungen und Durchschlag in Flüssigkeiten (24.02; 24.04; 24.08; 24.09)
b) Leitfähigkeit, Verluste, Vorentladungen und Durchschlag in Flüssigkeits-Feststoffisolierungen (24.01; 24.05; 24.07; 24.11)
c) Alterung von flüssigkeitsimprägnierten Systemen (24.03; 24.06; 24.10)
d) Statistische Analyse der Alterungsparameter (24.01; 24.03; 24.06; 24.07; 24.10)

Gruppe 3: SF_6-Isolierungen

Schwerpunkte der internationalen Forschungen zeichneten sich ab hinsichtlich der Durchschlagspannungs-Durchschlagzeit-Probleme (besonders bei kurzen Durchschlagzeiten), dem Verhalten von Anordnungen mit inhomogenen Feldern (auch gestörte schwach inhomogene Felder) mit Raumladungen, dem Verhalten von Anordnungen bei Gleichspannung (Polaritätswechsel), Anordnungen mit beschichteten Elektroden. Es zeigt sich, daß SF_6-Isolierungen weiter im Vormarsch sind; hinsichtlich der Gasgemische wurde nicht mehr so intensiv gearbeitet.

31: Durchschlagmechanismus in SF_6 (*Boeck*, BRD)

a) Einzelprobleme der Durchschlagentwicklung (31.01; 31.05; 31.08; 31.09)
b) Bereitstellungsprozesse der Primärelektronen (31.06; 31.07; 31.10)
c) Durchschlagmodelle (31.02; 31.03; 31.04; 31.11)

32: Einfluß verschiedener Parameter und Phänomene in SF_6-Isolierungen (*Thione*, Italien)

a) Elektrodeneffekte (32.02; 32.04; 32.05; 32.07; 32.08)
b) Einfluß der Isolatoren (32.03; 32.09; 32.10)
c) Einfluß der Spannungsform (32.01; 32.06; 32.11; 32.12)

33: Durchschlag in Gasen (außer SF_6 und Luft) und im Vakuum (*Sigmond*, Norwegen)

a) Methodologische Fragen, Mischprozesse (33.07; 33.04; 33.08; 33.06)
b) Stabilisierung von Vorentladungsprozessen (33.11; 33.05; 33.03)
c) Verhalten von Hexafluoropropenen(C_3F_6) (33.12; 33.02)
d) Systeme aus Gas-Flüssigkeit, Gas-Feststoff, Vakuum-Feststoff (33.09; 33.01; 33.10)

34: Gasisolierte Schaltanlagen (*Farish*, Großbritannien)

a) Leiter-Erde-Überschläge bei Trennern (34.04)
b) Isolatoren
   — Gestaltung (34.03; 34.08)
   — Partikeleinfluß auf den Überschlag (34.01; 34.06)
   — Lebensdauerprüfung (34.11; 34.09)
c) Einfluß von Partikeln
   — Partikelbewegung (34.02)
   — Gestaltung und Prüfung von Systemen (34.12; 34.10)
   — Diagnostik (34.05; 34.07).

Gruppe 4: Luftisolierungen

Besonders intensiv wurden wiederum Fragen der Streamer-Leader-Entwicklung behandelt (Computer-Modelle), der Dimensionierung von Elektroden und Elektrodensystemen sowie Fragen der verschmutzten Isolatoren, besonders bei Gleichspannung.

41: Durchschlagprozeß I (*Waters*, Großbritannien)

a) Einfluß der Ionisation und der Luftfeuchtigkeit (41.01; 41.03)
b) Raumladungen (41.04; 41.02)
c) Optische Messungen (41.05; 41.06).

42: Durchschlagprozeß II (*Baldo*, Italien)

Einzeldiskussionen der Beiträge (42.01 bis 42.08)

43: Einfluß atmosphärischer Parameter (*Hutzler*, Frankreich)

Einzeldiskussionen der Beiträge (43.01 bis 43.07).

[1]) Die Ziffern verweisen auf die einzelnen Referate, die in der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik, im VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin und im VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden in englischer Sprache vorliegen.

44: Ingenieurtechnische Anwendungen (*Schneider*, BRD)

a) Sonderprobleme (44.01; 44.12)
b) Schaltspannungen (44.02; 44.11)
c) Blitzspannungen (44.04; 44.10)
d) Vielfachfunkenstrecken (44.03; 44.05; 44.06; 44.07; 44.08).

45: Freiluftisolierungen (*Janischewskyi*, Kanada)

a) Koronaprobleme (45.01; 45.02; 45.04; 45.09)
b) Oberflächenprobleme (45.03; 45.05; 45.06; 45.07; 45.08; 45.10).

46: Verschmutzung (*Verma*, BRD)

a) Überschlagprozeß (46.01; 46.04; 46.07; 46.09; 46.10; 46.12)
b) Inhomogene Schmutzschichten (46.10; 46.11; 46.13; 46.08)
c) Nichtstandardisierte Prüfverfahren (46.02; 46.03)
d) Isolatorkonstruktionen (46.05).

Gruppe 5: Hochspannungs-Prüfanlagen

Schwerpunkte der Berichte und Diskussionen waren Gleichspannungs-Prüfanlagen (mit Möglichkeit des Polaritätswechsels), Impulsspannungsgeneratoren für Steilspannungen und hohe Ströme sowie Infrafrequenz-Generatoren. Nach wie vor sind die für Gleichspannungs-Generatoren zu fordernden Parameter unklar und bedürfen weiterer Untersuchungen.

51: Prüfgeneratoren (*Carrara*, Italien)

a) Infrafrequenz-Generatoren (51.01; 51.03)
b) Gleichspannungs-Generatoren (51.02; 51.04; 51.05)
c) Prüfkreise zur Erzeugung von Mischspannungen (51.10)
d) Computer-Berechnungen von Hochspannungs- und Hochstrom-Prüfkreisen (51.09; 51.06; 51.08; 51.07).

52: Prüfeinrichtungen und Prüfkreiseleelemente (*Zaffanella*, USA)

a) Prüfeinrichtungen für UHV-Übertragung (52.05)
b) Ausrüstungen für Vor-Ort-Prüfungen (52.07; 52.09; 52.10)
c) Prüf- und Meßtechnik für verschmutzte Isolatoren (52.01; 52.03)
d) Funkenstrecken zur Triggerung von Impulsgeneratoren (52.02; 52.06; 52.08)
e) Nichtlineare Widerstände und Kondensatoren (52.04)

Gruppe 6: Hochspannungs-Prüf- und -Meßtechnik

Für diese Gruppe lagen die meisten Beiträge vor (60). Behandelt wurden moderne Meß- und Auswertemethoden mit Einsatz der Optoelektronik, Digitaltechnik, Mikroprozessoren und die Teilentladungsmeßtechnik. Es fiel auf, daß der on-line-Betrieb von Rechnern ausschließlich durch die Betreiber von Prüfanlagen selbst realisiert wurde (kompatible Prüfanlagen und Meßgeräte erforderlich). Bei der Teilentladungs-Meßtechnik hat sich allgemein die breitbandige Messung durchgesetzt

61: Spannungsteiler und Strommeßwiderstände (*Zaengl*, Schweiz)

a) Neue Methoden für Teiler (61.11; 64.13)
b) Teilerkonstruktionen (61.04; 61.03; 61.08); (61.12)
c) Scheitelspannungsmeßgeräte (61.02; 61.07)
d) Kalibrierung (61.10; 61.06)
e) Strommessung (61.09; 61.05).

62: Strom- und Spannungsmessung (*Zingales*, Italien)

a) Meßteiler (62.05; 62.07; 62.08)
b) Meßtechnik (62.01; 62.02; 62.03; 62.04; 62.06; 62.09; 62.10; 62.11)

63: Teilentladungs-Meßtechnik und -Meßkreise, Diagnostik (*Möller*, BRD)

a) Fundamentale Beiträge (63.11; 63.10; 63.09)
b) Neue Meßprinzipien und -geräte (63.01; 63.06; 63.12; 63.13; 63.14)
c) Teilentladungsmessung an technischen Anordnungen vor Ort (63.07; 63.02; 63.03; 63.08; 63.04; 63.05)

64: Meßmethoden und Meßprobleme (*Hylten-Cavallius*, Brasilien)

Einzeldiskussion der Beiträge (64.01 bis 64.12).

65: Meßfehler und digitale Meßtechnik (*Malewski*, Kanada)

a) Digitalrecorder zur Messung von Überspannungen in Hochspannungskreisen (65.01; 65.02; 65.05; 65.06; 65.07)
b) Numerische Korrektur von Impulsverzerrungen (65.04; 65.08; 65.10)
c) Verbesserung der Charakteristik von Impuls-Spannungsteilern (65.03; 65.09)

W. Mosch, Dresden EA 1652

Freileitungsschutzstrecke und Blitzüberspannungen in Umspannwerken

260. Elektrotechnisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden am 09. 11. 1983

Referent: Dr.-Ing. *G. Drescher*
TU Dresden, Sektion Elektrotechnik
Leitung: Prof. Dr.-Ing. *H. Koettnitz*, TU Dresden, Sektion Elektrotechnik

Im Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden werden seit zwölf Jahren Blitzüberspannungsberechnungen durchgeführt. Aus der Vielzahl der Berechnungen und deren Ergebnissen wurden Erkenntnisse für die Bewertung der Kriterien einer Freileitungsschutzstrecke (FSS) gewonnen.
Ausgangspunkt des Kolloquiumvortrages war die Darstellung des Wanderwellenberechnungsverfahrens nach Prof. *Kostenko*, Leningrader Polytechnisches Institut. Im Anschluß wurden die Forderungen an eine FSS diskutiert, die aus Wanderwellenberechnungen mit einlaufenden Spannungswellen resultieren. Die Verbesserung des Rechenmodells durch Modellierung der wanderwellenbeeinflussenden Parameter der Freileitungsmasten und der dortigen Überschlagstrecken an Isolatoren sowie einer Blitzstromquelle führte zur Schlußfolgerung der notwendigen und hinreichenden Länge von 2 km einer FSS, wobei sowohl Stationen mit Freileitungs- als auch Kabelanschluß untersucht wurden. Aus der Form der zur Station laufenden Wanderwellen wurde gefolgert, daß die Erdungsimpedanz der Masten möglichst klein ($\leqq 15\,\Omega$) zu halten ist, und eine Welle an mindestens zwei Masten vorbeigelaufen sein sollte. Die Untersuchungen setzen einen Ventilableitereinsatz vor der Station bzw. am Übergang Freileitung/Kabel voraus, bei langen Kabeln an beiden Kabelenden.

H. Koettnitz, Dresden EA 1650

ETG-Tagung Selektivschutz

Am 16./17. 03. 83 fand unter Leitung von *P. Kulik* in Nürnberg eine ETG-Fachtagung Selektivschutz statt, auf der vor allem das Systemverhalten des Selektivschutzes in Übertragungs- und Verteilungsnetzen, die Planung und Zuverlässigkeit von Schutzeinrichtungen sowie die Schutzentwicklung einschließlich der Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit und der Meßwandler behandelt wurden. In einem Übersichtsvortrag von *H.-P. Tubandt* wird zunächst festgestellt, daß Selektivität, Zuverlässigkeit, Schnelligkeit und Empfindlichkeit des Selektivschutzes in dieser Reihenfolge sowohl bei konventioneller Relaistechnik als auch bei statischen Schutzrelais die Versorgungszuverlässigkeit des Netzes beeinflussen.
Die Verringerung der Staffelzeiten, die Anwendung von Mitnahmeschaltungen, Schalterreserveschutz und der Betrieb mit Zweisammelschienenschaltungen werden als entscheidende Mittel zur Verbesserung der Versorgungszuverlässigkeit herausgestellt, wobei Frequenzrelais für Netztrennung und Entlastungsschaltungen als notwendige Ergänzung gesehen werden. Es wird eingeschätzt, daß die Forderungen an den zukünftigen Selektivschutz, wie Typenkonstanz, geringer Platzbedarf, niedriger Eigenbedarf, geringe Masse, größtmögliche Sicherheit gegen Beeinflussungen, einfache Prüfung, Kosten und wenig aufwendige Einstellung bzw. Inbetriebnahme mit statischen Schutzrelais realisierbar sind und der Übergang zum Schutzrechner in Mikroprozessor-Technik mit schrittweiser Integration weitere Funktionen, wie Steuerung, Meßwerterfassung und -verarbeitung bevorsteht, wobei jedoch noch eine Reihe von Problemen vor Einführung gelöst werden müssen.
Folgende Beiträge wurden vorgestellt:

Requa, R.: Die Grenzen der Anwendbarkeit des Distanzschutzes

Becker, K.: Der Reserveschutz im Höchstspannungsnetz

Klein, K.-L.: Schutzeinrichtungen großer Kraftwerksblöcke

Müller, H. J.: Struktureller Aufbau statischer Schutz- und Sekundäreinrichtungen in Mittelspannungsnetzen

Schaller, F.: Schutz in Verteilungsnetzen von Industrie und Gebäuden

Brauch, A.; Liebscher, W.: Schutztechnische Probleme beim Anschluß von Kraftwerken an Mittel- und Niederspannungsnetze

Hubensteiner, H.; Ungrad, H.: Zuverlässigkeit von Schutzeinrichtungen

Born, E.: Untersuchung des Systemverhaltens statischer Schutzeinrichtungen beim Hersteller und beim Betreiber

Halama, W.: Anregeprobleme des Selektivschutzes und ihre Lösung

Rijanto, H.: Weiterentwicklung der Schutz-/und Schaltanlagen-Automatisierungstechnik mit Mikrorechnern

Strnad, A.; Chun, E. A.: Elektromagnetische Verträglichkeit von Schutzeinrichtungen

Freygang, H.-J.: Meßwandler für den Selektivschutz

H. Pundt, Dresden EA 1660

DISSERTATIONEN

Witt, H.

Die Berechnung der Blitzspannungsverteilung in Wicklungen von Grenzleistungstransformatoren mittels digitaler Rechenmaschinen

Dissertation A, TU Dresden, 1982

Die Berechnungsmethode zerlegt die Wicklungen in diskrete Wicklungselemente, die durch Zusammenfassung einer beliebigen endlichen Anzahl von aufeinanderfolgenden Windungen entstehen, so daß hinsichtlich der Wicklungsart und der Lage der Knotenpunkte in der Wicklung keine Einschränkungen gegeben sind.

Es wird ein Verfahren zur Berechnung der elektromagnetischen Kopplung dieser diskreten Wicklungselemente aus den Kapazitäten, Eigen- und Gegeninduktivitäten der Windungen entwickelt. Es können sowohl unverschachtelte als auch verschachtelte Scheibenspulen- und Lagenwicklungen betrachtet und die Potentiale bzw. Potentialdifferenzen an beliebigen Stellen des Wicklungssystems bestimmt werden. Das sich ergebende gewöhnliche Differentialgleichungssystem wird nach der Eigenwertmethode gelöst, die eine spektrale Analyse der Wellenvorgänge gestattet.

Laub, S.

Untersuchungen zum Einfluß der Wirkdauer und des zeitlichen Verlaufes der Spannung auf das Entladungsverhalten großflächiger, störstellenbehafteter Elektrodenanordnungen in Luft

Dissertation A, TU Dresden, 1982

Aufbauend auf vorangegangenen Arbeiten im Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik erfolgten weitere systematische Grundlagenuntersuchungen zum Zeiteinfluß der Prüfspannung auf die Entladungszündung und den Durchschlag an ausgewählten Modellanordnungen mit Oberflächenstörungen. Die Untersuchungen wurden mit positiven Impulsspannungen und 50-Hz-Wechselspannung unter besonderer Beachtung der Stochastik der Entladungsprozesse durchgeführt. Für die Praxis unmittelbar nutzbare Schlußfolgerungen wurden abgeleitet. So ist die Oberflächengüte bei Blitz-Impulsspannung von untergeordneter Bedeutung, während sie bei Schalt-Impulsspannung und Wechselspannung die Zündbedingungen und damit das Durchschlagverhalten maßgebend beeinflußt.

Fink, H.

Löschung von Lichtbögen nach Durchschlägen in Vakuum-Schaltkammern

Dissertation A, TU Dresden, 1982

Zur technischen Beurteilung des Isoliervermögens von Vakuum-Schaltkammern werden die Wahrscheinlichkeit der Lichtbogenlöschung im hochfrequenten Stromnulldurchgang sowie die Wiederverfestigung nach der Unterbrechung des hochfrequenten Stromes untersucht (Steilheit vor Nulldurchgang: $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t \leqq 1\ \mathrm{kA}/\mu\mathrm{s}$, Amplitude: $i \leqq 7{,}5\ \mathrm{kA}$, Frequenz: $f_i \leqq 1 \cdots 25\ \mathrm{kHz}$, Einschwingspannung nach Stromunterbrechung: Steilheit $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t \leqq 20\ \mathrm{kV}/\mu\mathrm{s}$, Amplitude: $u_e \leqq 100\ \mathrm{kV}$) und mit der Belastung durch das Netz verglichen.

In Vakuum-Schaltkammern werden die hochfrequenten Ausgleichsströme des Netzes ($\mathrm{d}i/\mathrm{d}t \leqq 0{,}06\ \mathrm{kA}/\mu\mathrm{s}$). die den 50-Hz-Strömen überlagert sind, sicher unterbrochen (ohne Wiederzündung). Damit kann sich kein, den Netzbetrieb störender, 50-Hz-Strom ausbilden. Ein Vakuum-Durchschlag verursacht also keine Störung des Elektroenergiesystems. Für das technisch wirksame Isoliervermögen ist die durch Formierung erhöhte Durchschlagspannung entscheidend.

Kobisch, V.

Zur elektrischen Alterung von Epoxidharzisolierungen unter besonderer Berücksichtigung der durch den Stromfluß entstehenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen

Dissertation A, TU Dresden, 1982

An Modellisolierungen aus Epoxidharz (Anordnung koaxiale Zylinder) wurde der Einfluß von Temperaturbelastungen und mechanischen Spannungen auf die elektrische Lebensdauer untersucht. Es wurden solche Temperaturbelastungen ausgewählt, die sich aus einem elektrischen Stromfluß ergeben, wobei der mechanische Spannungszustand durch Berechnung ermittelt wurde. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß durch eine Temperaturerhöhung der Erwartungswert der Durchschlagzeiten generell absinkt, während sie bei kleinen Durchschlagwahrscheinlichkeiten kaum beeinflußt werden. Treten dazu durch einen großen radialen Temperaturgradienten hohe mechanische Zugspannungen in tangentialer und axialer Richtung auf, so verringern sich die Durchschlagzeiten weiter. Da die Durchschlagzeiten bei kleinen Wahrscheinlichkeiten nicht oder nur wenig beeinflußt werden, ist keine wesentliche Änderung der Ausfallquote bei technischen Isolierungen zu erwarten.

Küllig, P.

Zum Einfluß von Fehlstellen auf die elektrische Lebensdauer von extrudierten Polyäthylen-Isolierungen bei Wechselspannung

Dissertation A, TU Dresden, 1982

Es wurden der Einfluß von Verunreinigungen sowie der Größe des Isolierstoffvolumens auf die elektrische Lebensdauer von Polyäthylen (PE)-isolierten Starkstromkabeln untersucht, die zulässige Größe der Verunreinigungen abgeschätzt und Schlußfolgerungen für die Bemessung und Prüfung von PE-Kabeln gezogen. Die Untersuchungen wurden vorwiegend mit Modellkabeln durchgeführt. Gleichzeitig erfolgten Untersuchungen der räumlichen und zeitlichen Ausbildung von Teilentladungskanälen in Nadel-Platte-Prüfkörpern und der Feldstärkeverteilung an Verunreinigungen im koaxialen Zylinderfeld. Damit konnten die Ergebnisse der Lebensdauerversuche an Modellkabeln mit Verunreinigungen interpretiert werden. Schlußfolgernd wurden Aussagen zur erforderlichen Reinheit des PE-Granulats und deren Kontrolle gemacht.

El-Dessouky, S. S.

Beitrag zum partikelgezündeten SF_6-Durchschlag bei Mischspannung

Dissertation A, TU Dresden, 1982

SF_6-isolierte Hochspannungsgeräte werden im Betrieb fast nie mit reinen Impulsspannungen belastet, vielmehr ist im Netz stets eine Mischspannungsbelastung durch die Betriebsspannung und eine Überspannung zu erwarten. Die komplexen physikalischen Vorgänge beim partikelgezündeten Durchschlag mit standardisierten Spannungen komplizieren sich bei Mischspannungsbeanspruchung weiter. Es wurden deshalb Mischspannungen aus Gleich- bzw. Wechselspannung und Schaltspannung untersucht. Die auftretenden Vorgänge wurden phänomenologisch beschrieben und systematisiert. Die Durchschlagmischspannung wurde als Zufallsgröße behandelt und mit Hilfe additiver Mischverteilungen beschrieben. Die Ergebnisse zeigen, daß die Überlagerung von Wechsel- und Schaltspannung für die partikelgestörte SF_6-Isolierung keine kritischere Beanspruchung darstellt als die reine Wechselspannungsbeanspruchung.

Dietrich, M.

Dimensionierung von großflächigen Elektroden für Hochspannungsprüfanlagen mit Abgabespannungen im Megavoltbereich

Dissertation A, TU Dresden, 1983

Die Beherrschung äußerer Luftisolierstrekken für Spannungen im Megavoltbereich, insbesondere von Hochspannungsprüfanlagen, ist nur mit Hochspannungselektroden (HSE) möglich. Dimensionierung der HSE je nach Einsatzgebiet nach der Streamereinsetz-, Leadereinsetz- bzw. Durchschlagspannung, jeweils unter Anwendung von Methoden der mathematischen Statistik. Nutzung des Vergrößerungsgesetzes der Hochspannungstechnik in verallgemeinerter Form für die Dimensionierung nach Streamereinsetzspannung. Die Dimensionierungsrichtlinien wurden aus Ergebnissen eigener experimenteller Untersuchungen an technisch realen HSE bei Spannungen bis 5 MV und Elektrodenabständen bis 50 m erhalten. Es konnte gezeigt werden, daß HSE zur Beherrschung von Spannungen mit Scheitelwerten von mehreren Megavolt prinzipiell nach der Streamereinsetzspannung zu dimensionieren sind.

Schwarz, J.

Über die Zeitabhängigkeit des Blitzspannungsdurchschlags schwach inhomogener SF_6-Isolierungen

Dissertation A, TU Dresden, 1983

Es wurde das Durchschlagspannungs(U_d)-Durchschlagzeit(t_d)-Verhalten von SF_6-Isolierungen für $0{,}2\,\mu\mathrm{s} \leqq t_d \leqq 10\,\mu\mathrm{s}$ und Isoliergasdrücke $p_{20} = 0{,}1 \cdots 0{,}4\ \mathrm{MPa}$ untersucht. Eine neuartige Methode erlaubte es, statistisch unabhängige Großzahlversuche durchzuführen. Durchschlagzeit und statistische Streuzeit wurden als Zufallsgrößen behandelt. Die verallgemeinerten empirischen Ergebnisse der Modellversuche dienten zur Angabe einer Berechnungsvorschrift von U_d-t_d-Kennlinienbändern für schwach inhomogene SF_6-Isolierungen.

Grasselt, H.

Ein Beitrag zur Bewertung von Isolierstoffen, Kontakt- und Filtermaterialien für SF_6-Leistungsschalter

Dissertation A, TU Dresden, 1983

Entwicklung eines Vergleichsverfahrens zur Beurteilung von Isolierstoffen, die in zersetztem Schwefelhexafluorid eingesetzt werden sollen. Untersucht werden Längsgrenzflächen zwischen anaxialen Zylinderelektroden. Beurteilungsgröße ist die Überschlagwechselspannung. Die Gasersetzung erfolgt mittels Lichtbögen zwischen Aluminiumkontakten. Als Verhaltenskennlinie wird die Überschlagspannung als Funktion des Zersetzungsgrades dargestellt.

W. Mosch, Dresden EA 1693

BÜCHER

Mikrorechner in der Meßtechnik

Von *Ch. Löber* und *G. Will*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 236 Seiten, 226 Bilder, 11 Tafeln. Ganzleinen 33,—Mark Bestell-Nr. 553093 7

Das Buch hat das Ziel, Lösungsmöglichkeiten und Applikationen für den Einsatz der Mikrorechentechnik in der elektronischen Meßtechnik zu vermitteln. Für den Entwurf leistungsfähiger Meßsysteme mit Mikroprozessoren oder Mikrorechnern sind umfangreiche Hard- und Softwarekenntnisse erforderlich. Neben Grundkenntnissen und Prinzipien vermittelt das Buch auch praktisch erprobte Schaltungen und Programme. Erläutert werden die modularen Komponenten von Meßsystemen zur Meßwerterfassung und Meßwertverarbeitung sowie zur Ausgabe und Anzeige digitaler Daten. Algorithmen und Programme für arithmetische Prozeduren werden auf der Basis des Mikrorechnersystems K 1520 angegeben. Für Praktiker besonders interessant sind zwei Kapitel über Anlauf- und Abbruchstrategien sowie Testmethoden und Fehlerdiagnose in Mikrorechnersystemen.
Das Buch gibt insgesamt einen guten Überblick auf moderner Grundlage. Wenn sich auch die Applikationen ausschließlich auf den 8-Bit-Mikrorechner K 1520 beziehen — und damit ein Bedürfnis der Praxis befriedigen — so werden insbesondere im Kapitel „Aufbau und Wirkungsweise von Mikrorechnern" auch Ausblicke auf die 16-Bit-Technik gegeben. Im Buch werden alle wichtigen Probleme angesprochen: Ein- und Mehrrechnerstrukturen, strukturierte Programmierung, Programmsysteme mit Betriebssystem, Prozessor-, Speicher- und Peripherieschaltkreise, Analog-Digital-Umsetzer u. a.
Die einzelnen Abschnitte hierzu sind in ihrer Betrachtungstiefe sehr unterschiedlich. Einiges wird sehr ausführlich, anderes wiederum nur knapp dargestellt. Dadurch ist es ohne weitere Vorkenntnisse zum verwendeten Rechnertyp K 1520 für den Leser kaum möglich, die instruktiven Programmierbeispiele — besonders der Kapitel „Meßwerterfassung" und „Meßwertverarbeitung" — in der dargestellten Tiefe im einzelnen nachzuvollziehen, zumal sie, ausschließlich in Assemblersprache geschrieben sind. Das Buch gefällt aber besonders an den Stellen, wo die Autoren zu ihrer eigentlichen Problemstellung der Meßtechnik kommen, grundlegende Algorithmen beschreiben und programmtechnisch umsetzen.
Die Ausstattung des Buches läßt keine Wünsche offen.
Bilder und Tafeln sind instruktiv, die typografische Gestaltung ist übersichtlich und einprägsam. Wohltuend ist der Faksimiledruck vom Mosaikdrucker bei den Programmbeispielen.
Der Text mit den linienhaltenden Zeichen ist dadurch — im Gegensatz zu Schnelldrucker-Auszügen — einwandfrei lesbar.
Das Buch ist sowohl für die Ausbildung als auch für den in der Praxis tätigen Ingenieur empfehlenswert.

W. Fritzsch, Karl-Marx-Stadt EA 1688

Stromversorgungseinrichtungen

Reihe Informationselektronik

Von *H. Jungnickel*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 172 Seiten, 158 Bilder, 21 Tafeln. Broschur 12,—Mark. Best.-Nr. 553073 4

Die Zuverlässigkeit und das Betriebsverhalten elektronischer Geräte hängen in entscheidendem Maße von der Güte der Stromversorgungseinrichtung ab. Die Anforderungen an die Stromversorgungseinrichtungen sind mannigfaltig und können nur von den Eigenschaften der zu speisenden Baugruppen abgeleitet werden. Die Schaffung einer optimalen Schaltungsanordnung für alle möglichen Anwendungsfälle ist nicht möglich, aber auch nicht sinnvoll. Der Baugruppe „Stromversorgung" wird bei der Geräteentwicklung mitunter wenig Beachtung geschenkt. Oft wird versucht, den Einfluß einer „schlechten" Stromversorgung durch aufwendige Gestaltung der übrigen Baugruppen auszugleichen.
Mit dem vorliegenden Buch steht nun eine Grundlage zur schnellen und sicheren Entscheidungsfindung, bei der Auswahl einer geeigneten Stromversorgungsschaltung zur Verfügung. Zwar ist es nicht möglich, auf 171 Seiten jedem „seine" Schaltung paßgerecht dimensioniert vorzulegen, Hinweise und Anregungen werden aber in einer Vielzahl gegeben. Für den Praktiker vorteilhaft ist der Verzicht auf weitschweifige mathematische Abhandlungen. Dafür werden einfache Gleichungen oder Grafiken angeboten, die auch dem mathematisch wenig versierten Leser gestatten, die gewünschte Schaltung mit hinreichender Genauigkeit auszulegen.
Die Praxisnähe zeichnet sich in jedem Abschnitt des Buches ab, sei es eine einfache Z-Dioden-Stabilisierung oder ein Schaltregler einschließlich der zugehörigen Funkentstörung.
Leider wurde vom Autor ein wesentlicher Punkt nur ungenügend behandelt. Netzteile bestimmen hauptsächlich die Schutzgüte des zu versorgenden Gerätes. In einem Buch über Stromversorgungseinrichtungen sollte daher unbedingt auf die Vorschriften zum Bau von Transformatoren in Stromversorgungseinrichtung eingegangen und entsprechende Standards (Prüfspannungen, Isolationsanordnungen) angeführt werden. Gerade die auf S. 20 vom Autor angesprochenen Amateure dürften hier wohl die meisten Fehler machen.
Die Problematik der Stromversorgung wird auch künftig nicht an Bedeutung verlieren. Neben neuen Bauelementen werden auch Übertrager mit neuen Ferromagnetika zum Einsatz kommen. Ohne den positiven Gesamteindruck des Buches schmälern zu wollen, sollte geprüft werden, ob künftige Auflagen nicht mehr den Charakter eines Handbuches für Stromversorgungstechnik tragen sollten. Neben den erwähnten Vorschriften zum Bau von Netztrafos sollten Angaben zu neuen Bauelementen (z. B. Negativ-Spannungsregler), Werkstoffkennwerte von Ferritten u. a. ebenso aufgenommen werden wie spezielle Stromversorgungsschaltungen, z. B. die dezentrale Gewinnung von mehreren (auch negativen) Spannungen aus einer Betriebsspannung. Mit derartigen Erweiterungen stünde dann dem Praktiker ein Nachschlagewerk mit einen zum Bau von Stromversorgungseinrichtungen wesentlichen Informationen zur Verfügung.
Aber schon in der jetzt vorliegenden Form ist das Buch ein wertvoller Helfer bei der Konzipierung derjenigen Baugruppe elektronischer Geräte, deren Kompliziertheit allzuoft unterschätzt wird.

J. Ermisch, Dresden EA 1670

Entwurf und Diagnose komplexer digitaler Systeme

Von *D. Reinert*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 270 Seiten, 152 Bilder, 35 Tafeln. 37,—Mark.
Best.-Nr. 553209 4

Der Entwurf technischer Systeme ist, theoretisch gesehen, ein Polyoptimierungsprozeß. Grundsätzlich besteht die Aufgabe darin, für eine bestimmte geforderte Systemfunktion unter Berücksichtigung einer Reihe teils widersprüchlicher Nebenforderungen eine funktionserfüllende Struktur zu finden und diese im Sinne eines ingenieurmäßigen Kompromisses technisch-ökonomisch optimal zu realisieren. Wie grundsätzlich bei der Lösung von Syntheseaufgaben ist dabei auch im Zuge des Entwurfs komplexer digitaler Systeme die kausale Abhängigkeit zwischen Ursache (Systemstruktur) und Wirkung (Systemfunktion) in entgegengesetzter Richtung zu durchlaufen. Da zwischen der aufgabengemäß geforderten Systemfunktion und der dazu zu findenden Systemstruktur jedoch kein eindeutiger Zusammenhang besteht, kann hierfür kein determinierter Lösungsalgorithmus angegeben werden. Im praktischen Entwurfsgeschehen dominieren daher nach wie vor erfahrungsgeschützte, schöpferisch-intuitive iterative Methoden, auch wenn dabei zur Abwicklung von Routineprozessen zunehmend rechentechnische Hilfsmittel herangezogen werden. In dem hier vorliegenden Buch wird der nicht leichte Versuch unternommen, die wichtigsten Grundlagen, Denkweisen und Lösungsmöglichkeiten beim Systementwurf darzustellen, um den Leser zu methodischer Arbeit zu befähigen.
Im einzelnen werden nach einer einführenden Abgrenzung des Objektbereichs einige wichtige Grundlagen digitaler Systeme erläutert, danach die Besonderheiten komplexer digitaler Systeme und die damit verbundenen Entwurfsprobleme charakterisiert, anschließend in die hierarchische Betrachtungsweise sowie in die Darstellungs- und Beschreibungsmöglichkeiten komplexer Systeme eingeführt und schließlich ausführlich der Entwurfsprozeß einschließlich der Wege zur Beherrschung der Fehlerproblematik betrachtet. Abschließend werden die wichtigsten Entwurfsschritte anhand eines einfacheren Beispiels nachvollzogen.
Das Buch ist klar gegliedert, verständlich abgefaßt und der Text mit zahlreichen instruktiven Bildern unterlegt. Es ist allen an der Entwicklung und Herstellung von Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen sowie von industriellen elektronischen Steuerungssystemen beteiligten Technikern und Ingenieuren jedoch auch Dozenten und Studenten einschlägiger Fachrichtungen als Arbeitsmittel zu empfehlen.

E. Habiger, Dresden EA 1689

Dokumentation

Vogt, K.; Schubert, P.: **Johannes Görges – hervorragender Ingenieur, Forscher und Hochschullehrer der Elektrotechnik**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 125 – 128, 9 Bilder, 34 Lit.

1984 jährt sich zum 125. Mal der Geburtstag und zum 100. Mal der Beginn der Ingenieur- und Forschertätigkeit von *Johannes Görges*. Ausgehend von seinem Wirken als Ingenieur bei Siemens & Halske und als Hochschullehrer der damaligen Technischen Hochschule Dresden wird sein Einfluß auf die Entwicklung der Elektrotechnik dargestellt, wobei ein besonderer Anteil auf die Entwicklung der Wechselstromtechnik zu erkennen ist.

Henkel, O.: **Stand und Weiterentwicklung der Werkstoffe für die Elektrotechnik**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 128 – 133, 13 Bilder, 2 Tafeln, 6 Lit.

Bei der gezielten Werkstofforschung, z. B. bei dem Konstruktionswerkstoff Stahl, bei der Veredelung eines Werkstoffes durch Oberflächenmodifizierung oder -beschichtung, bei der Entwicklung von Verbundwerkstoffen und pulvermetallurgischer Werkstoffe einschließlich keramischer Konstruktionswerkstoffe, werden die Sonderwerkstoffe heute und in den kommenden Jahrzehnten in erster Linie das Entwicklungsniveau und -tempo in der wissenschaftlich-technischen Revolution bestimmen.

Töpfer, H.: **Zur Entwicklung der Automatisierungstechnik**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 133 – 137, 4 Bilder, 2 Tafeln, 9 Lit.

Im Beitrag wird unter besonderer Beachtung der notwendigen Niveaustufung in der Automatisierung, der dominierenden Automatisierungsstrukturen, der Softwareentwicklung etc. zur weiteren Entwicklung der Automatisierungstechnik im Bereich der Klein-, Mittel- und Großautomatisierung Stellung genommen.

Schönfeld, R.; Güldner, H.; Habiger, E.; Paulig, E.; Seefried, E.; Winkler, G.: **Anwendung der Mikroelektronik in der Elektrotechnik**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 137 – 143, 11 Bilder, 2 Tafeln, 22 Lit.

Die rasche Entwicklung auf dem Gebiet der hochintegrierten mikroelektronischen Schaltkreise beeinflußt heute wesentlich auch die energetische Elektrotechnik. Stand und erkennbare Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Elektroenergieerzeugung, Übertragung und Verteilung, der Leistungselektronik und Antriebstechnik, der Steuerung von Be- und Verarbeitungsprozessen sowie bei der Automatisierung von Prüfprozessen werden untersucht.

Brendler, W.; Koettnitz, H.: **Meßmittel und Meßmethoden in der energetischen Elektrotechnik unter dem Einfluß der Halbleiter- und Mikroelektronik**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 144 – 148, 10 Bilder, 1 Gl., 19 Lit.

Zur Gewinnung von Informationen über die tatsächlichen Beanspruchungen elektroenergetischer Betriebsmittel zeigen die Autoren aus der Arbeit der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden moderne Meß- und Informationsmethoden, die zu neuen Erkenntnissen führen beziehungsweise zur Schaffung neuer Meßmittel befähigen.

Böhme, H.; Ambrosch, H.; Pundt, H.: **Zuverlässigkeitserhöhung von Elektroenergiesystemen durch optimale Gestaltung von Betriebsmitteln und Anlagen und Vorausberechnung von Betriebsvorgängen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 149 – 154, 16 Bilder, 49 Lit.

Ausgehend von den gestiegenen Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Elektroenergiesysteme wurden einige Aspekte sowohl hinsichtlich der optimalen Gestaltung von Betriebsmitteln und Anlagen als auch der Berechnung von elektromagnetomechanischen Ausgleichsvorgängen aufgezeigt, die zur Erhöhung der Entwurfs- und Betriebszuverlässigkeit beitragen.

Документация

Фогт, К.; Шуберт, П.: Иоханнес Гёргес — выдающийся инженер, исследователь и преподаватель по электротехнике

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 4, стр. 125—128, 9 рис., 34 лит.

В 1984 году отмечается 125 годовщина рождения и 100 годовщина начала инженерной и исследовательской деятельности Иоханнеса Гёргеса. Начиная с его деятельности как инженер у ф-ы Сименс и Хальске, а также как преподаватель на тогдашнем высшем техническом учебном заведении г. Дрездена рассматривается его влияние на развитие электротехники, причем особая доля отпадает на развитие техники переменного тока.

Хенкель, О.: Состояние и дальнейшее развитие материалов для электротехники

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 4, стр. 128—133, 13 рис., 2 табл., 6 лит.

При целенаправленном исследовании материалов, например, конструкционного материала сталь, при облагораживании материала путем модифицирования поверхности и отделки поверхности нанесением слоев, при разработке комбинированных материалов и материалов порошковой металлургии, включая керамических конструкционных материалов, уровень и темпы развития в научно-техническом прогрессе будут определять как сегодня так и в течении ближайших десятилетий в первую очередь специальные материалы.

Тёпфер, Х.: О развитии техники автоматизации

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 4, стр. 133—137, 4 рис., 2 табл., 9 лит.

В статье вырабатывается точка зрения по дальнейшему развитию техники автоматизации в области малой, средней и крупной автоматизации, учитывая при этом особенно необходимую градацию уровней автоматизации, доминирующие структуры автоматизации, развитие программного обеспечения и т. д.

Шёнфельд, Р.; Гюльднер, Х.; Хабигер, Э.; Паулиг, Э.; Зеефрид, Э.; Винклер, Г.: Применение микроэлектроники в электротехнике

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 4, стр. 137—143, 11 рис., 2 табл., 22 лит.

Быстрое развитие в области микроэлектронных схем большой степени интеграции в настоящее время оказывает существенное влияние и на энергетическую электротехнику. Рассматриваются состояние и вырисовывающиеся тенденции развития в области выработки, передачи и распределения электроэнергии, мощной электроники и техники приводных механизмов, управления процессами обработки, а также в автоматизации испытательных процессов.

Брендлер, В.; Кёттнитц, Х.: Средства и методы измерения в энергетической электротехнике под влиянием полупроводниковой и микроэлектроники

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 4, стр. 144—148, 10 рис., 1 уравн., 19 лит.

Для получения информации о действительной нагрузке электроэнергетического оборудования авторы представляют новые методы измерения и информации из деятельности секции Электротехники технического университета г. Дрездена, приводящие к новым познаниям и, соответственно, способствующим созданию новых средств измерения.

Бёме, Х.; Амброш, Х.; Фундт, Х.: Повышение надежности электроэнергетических систем путем оптимального оформления электрооборудования и установок и предварительного расчета рабочих процессов

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 4, стр. 149—154, 16 рис., 49 лит.

Исходя из возросших требований к надежности электроэнергетических систем рассматриваются некоторые аспекты как в части оптимального оформления электрооборудования и установок, так и в части расчета электромагнито-механических процессов выравнивания, которые могут содействовать повышению рпоектной и эксплуатационной надежности.

Vogt, K.; Schubert, P.: **Johannes Görges – Prominent Engineer, Researcher and University Teacher of the Electrotechniques**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, pp. 125 – 128, 9 Figs., 34 Refs.

In 1984 are the 125th birthday and the 100th anniversary of the beginning of Johannes Görges' working as an engineer and researcher. Starting from his activity as engineer in Siemens & Halske and as lecturer of the then Technical College at Dresden his influence on the development of the electrotechniques is illustrated, whereby a special part on the development of the a.c. engineering is to be seen.

Henkel, O.: **State and Further Development of the Materials to the electrotechniques**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, pp. 128 – 133, 13 Figs., 2 Tables, 6 Refs.

In the systematic material research, e.g. related to the construction material steel, the up-grading of a material through surface modifying or coating, the development of compound materials and powder-metallurgical materials including ceramic construction materials, the special materials above all will today and in the next decades determine the development level and its velocity within the scientific-technical revolution.

Töpfer, H.: **To the Development of the Automation Techniques**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, pp. 133 – 137, 4 Figs., 2 Tables, 9 Refs.

In this paper with special consideration of the necessary level grading in the automation, the dominant automation structures, the development of the software etc. the further development of the automation techniques in the field of the small, middle and large automations is commented.

Schönfeld, R.; Güldner, H.; Habiger, E.; Paulig, E.; Seefried, E.; Winkler, G.: **Use of the Microelectronics in the Electrotechniques**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, pp. 137 – 143, 11 Figs., 2 Tables, 22 Refs.

Today the quick development in the field of the high-integrated microelectronic circuits is also influencing importantly the energetic electrotechniques. State and perceptible development trends in the field of the generation of electric power, transmission and distribution, of the power electronics and drive techniques, the control of manufacturing and working processes as well as in the automation of testing processes are studied.

Brendler, W.; Koettnitz, H.: **Measuring Means and Measuring Methods in the Energetic Electrotechniques under the Influence of the Semiconductor and Micro-Electronics**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, pp. 144 – 148, 10 Figs., 1 Equation, 19 Refs.

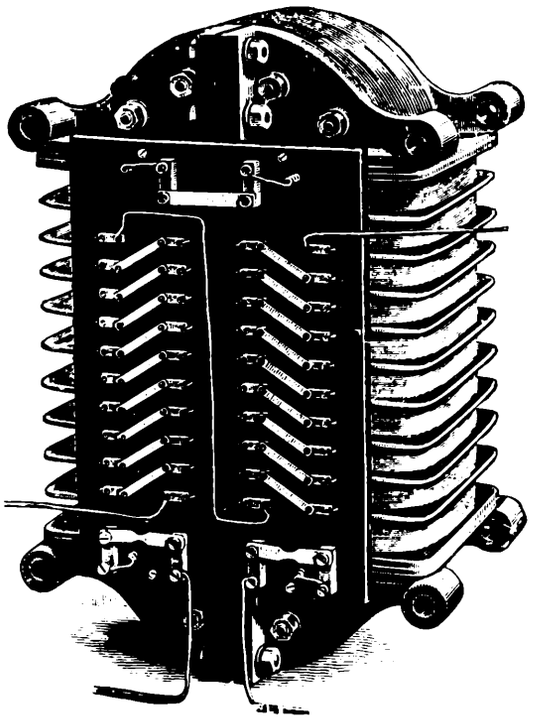
To the information getting about the real loads of electroenergetic operating means the authors represent from the work of the Section Electrotechniques of the TU Dresden modern measuring and information methods, which result in new knowledges respectively qualify to providing new measuring means.

Böhme, H.; Ambrosch, H.; Pundt, H.: **Reliability Increasing of Electric Energy Systems through Optimum Designing of Operating Means and Plants and Precalculating of Operating Processes**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, pp. 149 – 154, 16 Figs., 49 Refs.

Starting from the increased requirements to the reliability of the electric energy systems some aspects both with regard to the optimum designing of operating means and plants and the calculation of electromagnetomechanic transient processes were illustrated, which contribute to the increase of the designing and operating reliabilities.

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870 0; Telex: 011 22 28 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl. oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 287 0345) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 287 0343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presscamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandpreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústrédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohardská 41, 125 05 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tiače, Gottwaldovo nám. 48, 88 419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publictions Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29



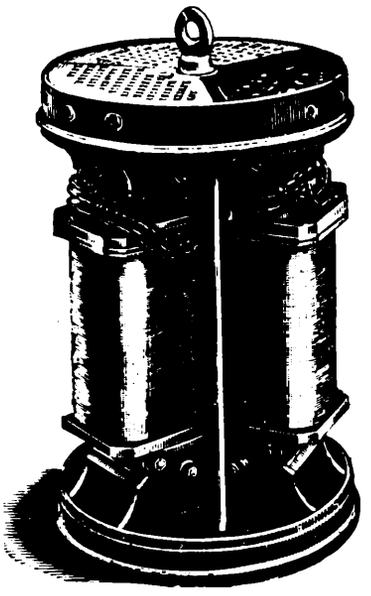


Bild 2. Drehstromtransformator von *Oelschlägel* und *Görges* (1891)

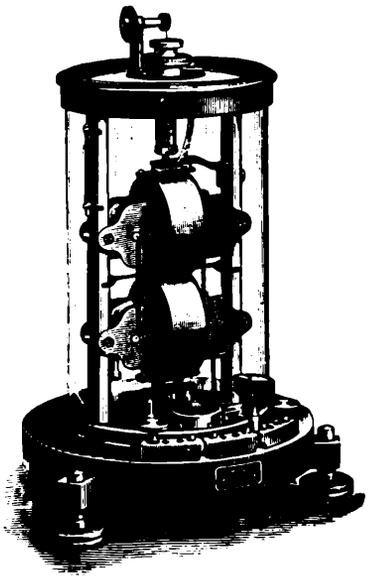


Bild 3. Astatisches Elektrodynamometer für Spannungsmessungen von *Görges* (1887)

◀ **Bild 1.** Wechselstromtransformator von *Görges* (1891)

Johannes Görges – hervorragender Ingenieur, Forscher und Hochschullehrer der Elektrotechnik

Bilder zum Beitrag auf S. 125 bis 128 (siehe auch 4. US)

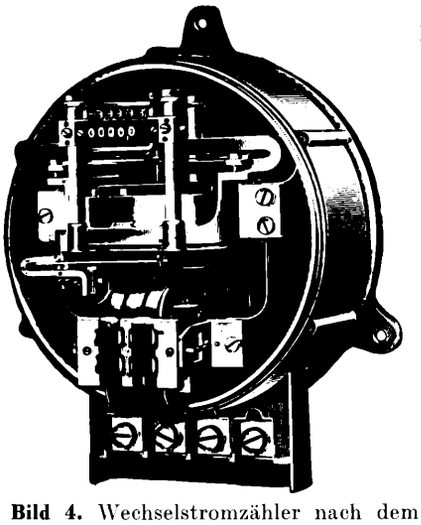


Bild 4. Wechselstromzähler nach dem Ferrarisprinzip von *Görges* und *Schrottke* (1898)

Bild 5. Drehstromkommutatormotor von *Görges* (1891)

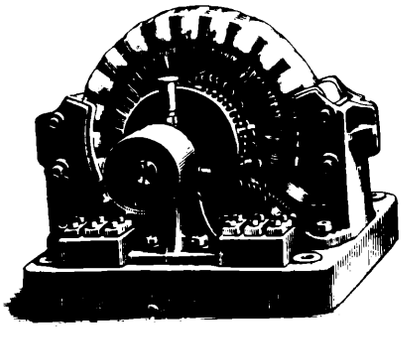
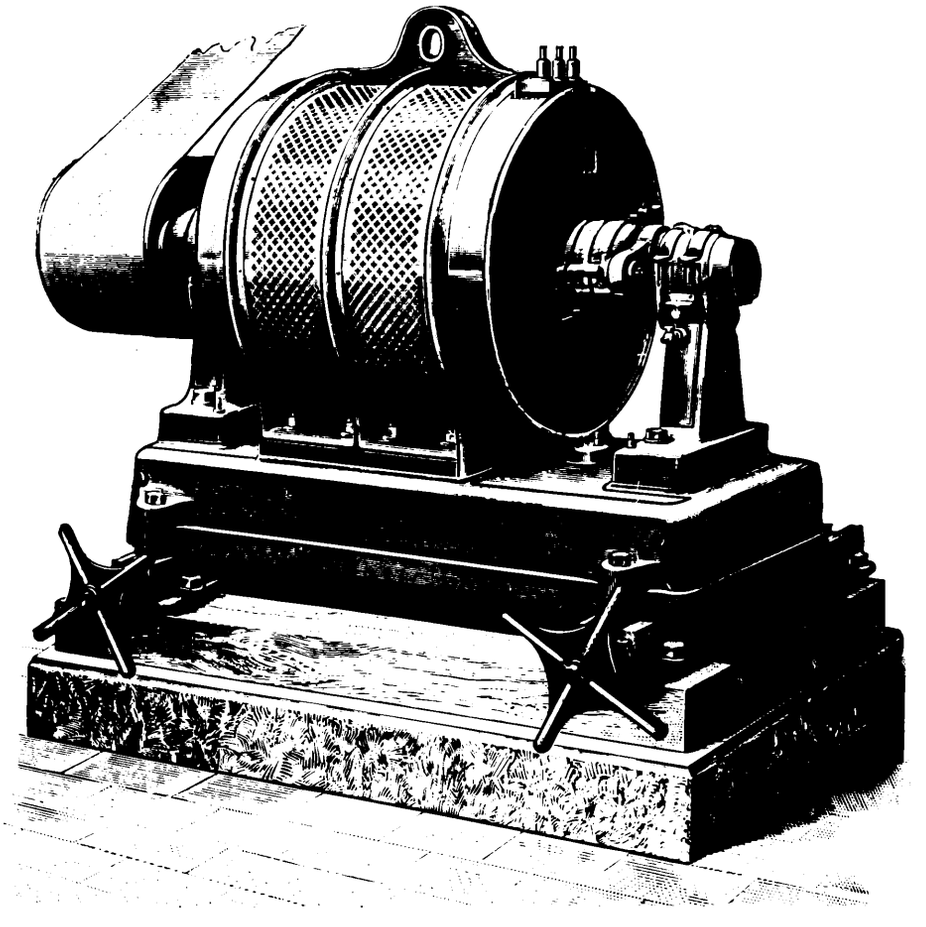


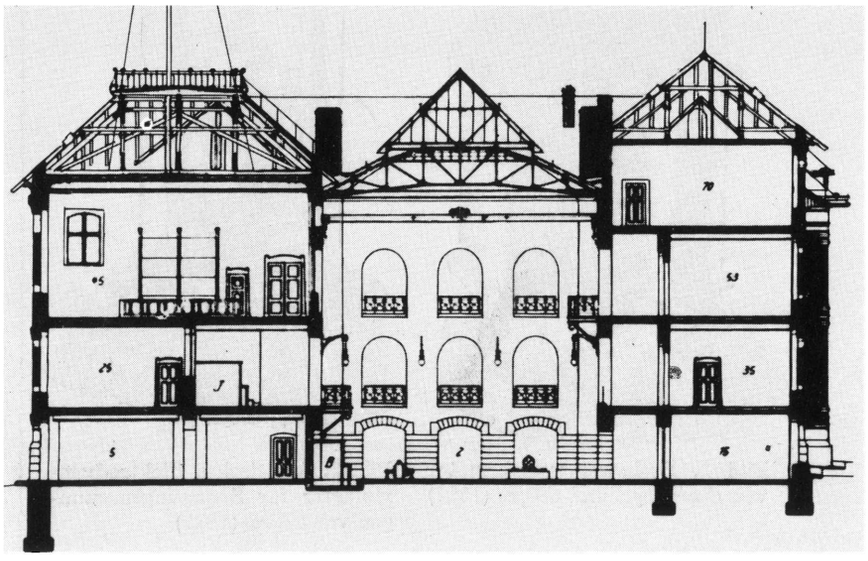
Bild 6. Drehstrommaschine von *Hoffmann* und *Görges* (1893)



ISSN 0013 — 5399
ELEKTRIE · Berlin 38 (1984) 4 · S. 121 — 160

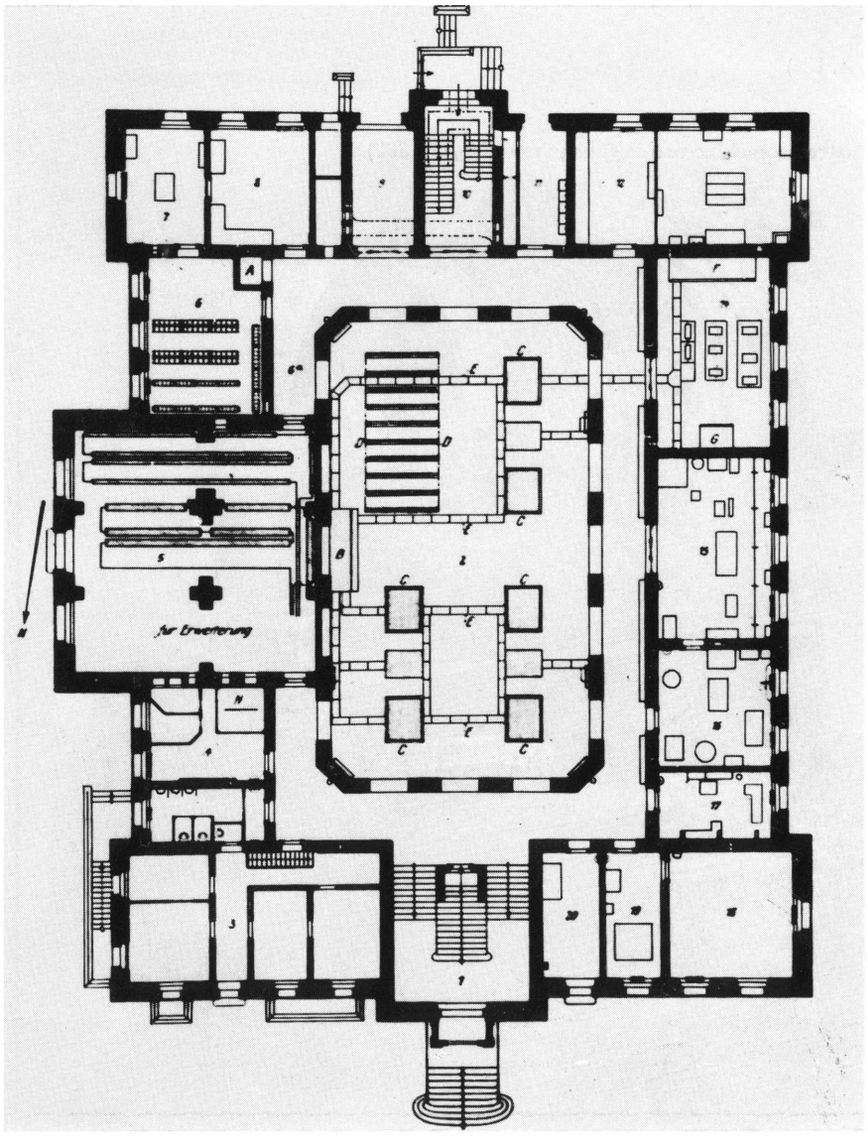
6150 4 177 027 405
KUMB KERAM WERKE
8012 7001 0136 PF

Johannes Görges – hervorragender Ingenieur, Forscher und Hochschullehrer der Elektrotechnik

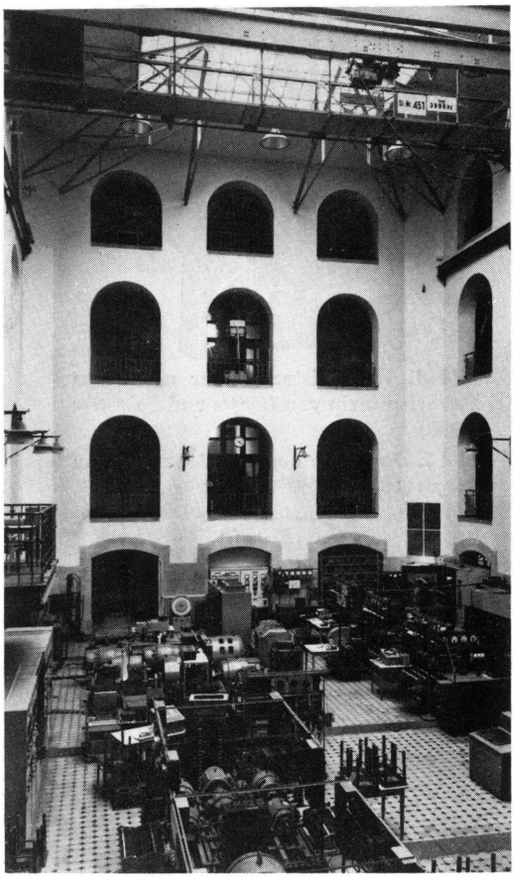


a) Querschnitt

b) Obergeschoß



Bilder zum Beitrag auf S. 125 bis 128
(siehe auch 3. US)

Bild 9. Das von *J. Görges* konzipierte Gebäude des Elektrotechnischen Instituts (Einweihung 1905) der damaligen Technischen Hochschule Dresden

c) Elektromaschinenversuchsfeld (Lichthof)